İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMININ FARKLI BÖLGELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA : TOKİ TARIMKÖY PROJESİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe BEKTAŞ

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMININ FARKLI BÖLGELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA : TOKİ TARIMKÖY PROJESİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe BEKTAŞ
(502101500)

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502101500 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ayşe BEKTAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **" Binalarda rüzgar enerjisi kullanımının farklı bölgeler açısından değerlendirilmesine yönelik bir çalışma : TOKİ Tarımköy Projesi Örneği"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK .....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **6 Haziran 2013**

Aileme ve müstakbel eşime,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Gül KOÇLAR ORAL'a, tezimin oluşmasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim.
Ayrıca eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli annem, babam, kardeşim Şenay, Ahmet ve Yavuz Selim Bektaş'a ve müstakbel eşim Mustafa Yeşilyurt'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Ayşe Bektaş
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xix**
SUMMARY ..... **xxi**
1. GİRİŞ **1**
2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TANIMI, DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ **5**
2.1 Rüzgar Enerjisi 5
2.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi 5
2.3 Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları 8
2.4 Dünyada Rüzgar Enerjisi 9
2.5 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi 12
3. RÜZGAR ENERJİSİNİN BİNALARDA KULLANIMI **19**
3.1 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımı ile ilgili Dünyadaki gelişmeler 20
3.2 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımı ile ilgili Türkiye'deki gelişmeler 24
3.3 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımını Etkileyen Tasarım Parametreleri 28
3.4 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanım Türleri 33
3.4.1 Rüzgar enerjisinin havalandırma için kullanımı 33
3.4.2 Rüzgar enerjisinin enerji üretme için kullanımı 35
3.5 Rüzgar Türbin Sistemi 37
3.5.1 Dikey eksenli rüzgar türbin sistemi 37
3.5.2 Yatay eksenli rüzgar türbin sistemi 37
3.5.3 Rüzgar türbininin verimini etkileyen parametrelerin belirlenmesi 38
3.5.3.1 Binaya ilişkin parametreler 38
3.5.3.2 Türbine İlişkin parametreler 43
3.6 Binalarda Enerji Üretmek İçin Kullanılan Rüzgar Türbin Sistemleri 45
3.6.1 Bina bağımsız rüzgar türbinleri 47
3.6.2 Bina - monte rüzgar türbinleri 47
3.6.3 Bina - entegre rüzgar türbinleri 48
3.6.4 Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin avantajları 55
3.6.5 Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin dezavantajları 55
3.7 Binalarda Kullanılan Rüzgar Türbinlerinin Yerleştirilmesi 56
4. RÜZGAR ENERJİSİNİN BİNALARDA KULLANIMI İLE İLGİLİ ÖRNEKLER **59**
4.1 Dünyadan Örnekler 59
4.2 Türkiye'den Örnekler 70
5. FARKLI RÜZGAR BÖLGELERİ İÇİN BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMINA YÖNELİK UYGULAMA: TOKİ TARIMKÖY PROJESİ ÖRNEĞİ **85**

5.1 Uygulama Çalışmasının Amacı 85
5.2 Uygulama Çalışmasının Adımları 85
5.2.1 Seçilen referans projenin tanıtılması ve projeye ilişkin veriler 86
5.2.1.1 Referans projenin plan şeması ve formu 87
5.2.1.2 Referans projenin yönlendirilişi 89
5.2.1.3 Referans binanın kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri 90
5.2.1.4 Referans projenin enerji giderlerinin hesaplanması için yapılan kabuller 90
5.2.2 Mevcut projenin enerji giderlerinin farklı bölgeler için hesaplanması 91
5.2.3 Mevcut projeye entegre edilecek rüzgar türbininin ve türbinin yerleştirildiği arazinin özellikleri 94
5.2.4 Proje için seçilen rüzgar türbininin farklı rüzgar bölgeleri için enerji üretiminin hesaplanması 98
5.2.5 Projenin farklı bölgelerdeki enerji giderlerinin ve rüzgar türbini üretiminin karşılaştırılması 99
5.2.6 Farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması 100
5.2.6.1 Kule yüksekliğine bağlı olarak farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması 100
5.2.6.2 Türbin gücüne bağlı olarak farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması 102
6. BULGULAR 107
7. SONUÇLAR 111
KAYNAKLAR 115
EKLER 118
ÖZGEÇMİŞ 131

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
AWEA : American Wind Energy Association
BREEAM : BRE Environmental Assessment Method
CO : Karbonmonoksit
CO_2 : Karbondioksit
DMİ : Devlet Meteoroloji İşleri
EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EİGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
E.Ü : Ege Üniversitesi
GW : Gigawatt
kW : Kilowatt
LEED : The Leadership in Energy & Environmental Design
MAM : Marmara Araştırma Merkezi
M.Ö : Milattan Önce
M.S : Milattan Sonra
MİLRES : Milli Rüzgar Enerji Sistemleri Geliştirilmesi ve Prototip Türbin Üretimi Projesi
MW : Megawatt
NOX : Nitrikoksit
ODTÜ : Ortadoğu Teknik Üniversitesi
REPA : Türkiye Rüzgar Enerjisi Atlası
RİTM : Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi
SO_2 : Kükürtdioksit
TEİAŞ : Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TOKİ : Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TÜREB : Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
TW : Terawatt
WASP : Wind Atlas Analysis and Application Program
WMO : Dünya Meteoroloji Organizasyonu
YEK : Yenielenebilir Enerji Kanunu
ZONE : Isıl Zon

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 : Rüzgar enerjisinin kullanım alanlarının sınıflandırılması. **34**
Çizelge 3.2 : Rüzgar türbin verimini etkileyen parametreler. **39**
Çizelge 3.3 : Pürüzlülük Sınıfları ve Arazi Özellikleri. **40**
Çizelge 3.4 : Pürüzlülük sınıfı-pürüzlülük uzunluğu tablosu (Vardar ve diğ, 2005). **41**
Çizelge 4.1: Hollanda Pavyonu'nda rüzgar türbini kullanımı. **60**
Çizelge 4.2 : The Green Building'de rüzgar türbini kullanımı. **60**
Çizelge 4.3 : Neues Technisches Rathaus binasında rüzgar türbini kullanımı. **61**
Çizelge 4.4 : Near North Apartmanlarında rüzgar türbini kullanımı. **61**
Çizelge 4.5 : Adventure Akvaryum'da rüzgar türbini kullanımı. **62**
Çizelge 4.6: Arizona State Üniversitesi'nde Rüzgar türbini kullanımı. **62**
Çizelge 4.7: Croydon City House'da rüzgar enerjisi kullanımı. **63**
Çizelge 4.8 : Kinetica binasında rüzgar enerjisi kullanımı. **63**
Çizelge 4.9: Greenway Self Park'ta rüzgar enerjisi kullanımı. **64**
Çizelge 4.10: Twelve West binasında rüzgar enerjisi kullanımı. **65**
Çizelge 4.11: Public Utility Commision Headquarters binasında rüzgar enerjisi kullanımı. **65**
Çizelge 4.12: Strata gökdeleninde rüzgar enerjisi kullanımı. **66**
Çizelge 4.13: Halifax Marina Market'te rüzgar enerjisi kullanımı. **66**
Çizelge 4.14: Pearl River Tower binasında bina-entegre rüzgar türbini kullanımı. **67**
Çizelge 4.15: Adobe Merkez binasında rüzgar enerjisi kullanımı. **68**
Çizelge 4.16: Oklohoma Medical Research Foundation binasında bina entegre rüzgar türbini kullanımı. **69**
Çizelge 4.17 : Şişli Belediyesi Bilim Merkezi'nde yenilenebilir enerjinin tanıtımı için tasarlanan rüzgar türbini **70**
Çizelge 4.18 : Eser Yeşil Bina ve Eser Yeşil Park'ta rüzgar türbini kullanımı. **71**
Çizelge 4.19 : Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü'nde rüzgar türbini kullanımı. **72**
Çizelge 4.20 : Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde tasarlanan rüzgar türbini. **73**
Çizelge 4.21 : Varyap Meridian'de kullanılan rüzgar türbinleri. **74**
Çizelge 4.22 : Bodrum'da bir konutta rüzgar türbini kullanımı. **75**
Çizelge 4.23 : Didim'de kullanıcı tarafından tasarlanmış bir rüzgar türbini. **76**
Çizelge 4.24 : Kağıthane'de kullanıcı tarafından tasarlanmış bir rüzgar türbini. **77**
Çizelge 4.25 : Bozcaada Akvaryum Otel'de rüzgar türbini kullanımı. **77**
Çizelge 4.26 : Okan Üniversitesinde rüzgar türbini kullanımı. **78**
Çizelge 4.27 : Adnan Menders Havalimanın'da deneme amaçlı rüzgar türbini kullanımı. **78**
Çizelge 4.28 : Yıldız Teknik Üniversitesinde rüzgar türbini kullanımı. **79**
Çizelge 4.29 : İzmir Kemalpaşa'da kullanıcı tarafından konuta monte edilen rüzgar türbini. **80**
Çizelge 4.30 : Beylikdüzü'nde bir fabrikada rüzgar türbini kullanımı. **81**
Çizelge 4.31 : Avcılar'da ofis binasında rüzgar türbini kullanımı. **81**
Çizelge 4.32: Tekirdağ'da büyükbaş hayvan çiftliğinde hibrid sistem kullanımı **82**

Çizelge 4.33: Kil ocağı şantiyesinde hibrid sistem kullanımı **82**
Çizelge 4.34 : Kırşehir'de bir çiftlikte rüzgar türbini kullanımı. **83**
Çizelge 5.1: Seçilen bölgelerin hakim rüzgar yönleri. **89**
Çizelge 5.2: Repa'daki bölgelerin uygulama çalışmasında adlandırılması. **92**
Çizelge 5.3 : Farklı rüzgar bölgeleri için seçilen yöreler. **92**
Çizelge 5.4 : Dört farklı rüzgar bölgesindeki TOKİ konut projesi örneğinin mevcut durumdaki ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji yükleri. **93**
Çizelge 5.5 : Tarımköy projesinde her bina için kullanılacak rüzgar türbininin teknik özellikleri (http://windenergy.com). **95**
Çizelge 5.6 : Rüzgar türbini analizi için girilen diğer veriler. **96**
Çizelge 5.7: Rüzgar türbinin ürettiği enerji ile her bölge için referans binanın tükettiği enerjinin karşılanma yüzdeleri. **99**
Çizelge 5.8 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri. **101**
Çizelge 5.9 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinden üretilen enerji ile her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini karşılama yüzdeleri. **102**
Çizelge 5.10 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri. **103**
Çizelge 5.11 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinden üretilen enerji ile her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini karşılama yüzdeleri. **104**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Putnam Rüzgar Türbini (Uçar, 2007). **.....7**
Şekil 2.2 : Manisa'da su pompalamak için kullanılan yel değirmeni. **.....8**
Şekil 2.3 : Dünya yıllık kümülatif artış 1996-2012 arası (http://www.gwec.net/)**.....10**
Şekil 2.4: 2012 yılına göre Dünya Rüzgar enerjisi kurulu güç bakımından ilk 10 ülke(http://www.gwec.net/). **.....11**
Şekil 2.5 : Türkiye rüzgar atlası (http://www.mgm.gov.tr) **.....13**
Şekil 2.6 : Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre kümülatif dağılımı (Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 2012)**....16**
Şekil 3.1 : Amerika'da kurulan küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin sayıları, ürettikleri, ve fiyatları (AWEA,2011). **.....20**
Şekil 3.2 : Amerika'da farklı boyuttaki rüzgar türbinlerinin yıllara göre sayıları (AWEA,2011). **.....21**
Şekil 3.3 : İngiltere'de küçük ve orta ölçekli rüzgar türbinlerinin kapasiteleri (Renewable UK, 2010) **.....21**
Şekil 3.4 : İngiltere'de küçük ve orta ölçekli türbinlerden üretilen enerji (Renewable UK, 2010)**.....22**
Şekil 3.5 : İngiltere'de kurulan rüzgar türbinlerinin sayıları (Renewable UK, 2010)**22**
Şekil 3.6 : Dubai'de yapımı planlanan rüzgar türbini entegre The Lighthouse binası (Tosun, 2010). **.....23**
Şekil 3.7 : Amerika Miami'de rüzgar türbini entegre Ecological House binası (Tosun, 2010). **.....23**
Şekil 3.8 : Enerji Kimlik Belgesi (Erkınay, 2012). **.....25**
Şekil 3.9 : Lisanssız Elektrik Üretimi Başvuruları (www.lisanssizelektrik.org). **.....26**
Şekil 3.10 : Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun I sayılı Cetveli (6094 Sayılı Kanun,2010). **.....26**
Şekil 3.11 : Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun II sayılı Cetveli (6094 Sayılı Kanun, 2010). **.....27**
Şekil 3.12 : Rüzgar hızının kentsel alanda azalması (http://www.wind-power-program.com). **.....29**
Şekil 3.13 : Yapı Yüksekliği ve Arka Tarafta Oluşan Etki Alanı (Erkınay, 2012)**....29**
Şekil 3.14: Dış engellerin binanın hızına olan etkisi (http://www.carbontrust.com)**.30**
Şekil 3.15 : a) Kare şeklinde bir binanın çevresindeki rüzgar akışı b) Binanın üstten bakıldığında türbülans etki alanı (Kıyak ve diğ, 2009). **.....31**
Şekil 3.16 : Rüzgar etkisi karşısında cephe eskizleri (Sezgin, 2005). **.....32**
Şekil 3.17 : The Pearl River Tower binası (Tosun, 2010). **.....32**
Şekil 3.18 : İngiltere'deki Breeam Binasının rüzgar bacaları (Yüksek, Esin, 2011). **35**
Şekil 3.19: Lüleburgaz'da hibrid bir sistem. **.....36**
Şekil 3.20 : Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri (Durak, Özer, 2008). **.....38**
Şekil 3.21: Yükseklik ile rüzgar hızı değişimi **.....42**
Şekil 3.22 : Rüzgar hızının ve gücünün yükseklikle artışı (AWEA,2008)**.....43**

Şekil 3.23 : Küçük ve büyük güçlü rüzgar türbinlerinin nominal güç ve rotor çapı gösterimi (http://www.carbontrust.com). **45**
Şekil 3.24 : Bina bağımsız rüzgar türbini örneği. **47**
Şekil 3.25 : Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde kullanılan bina monte rüzgar türbinine bir örnek (Aktacir ve diğ, 2008) **48**
Şekil 3.26 : Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri ve bina ilişkileri (Günel ve diğ, 2007). **49**
Şekil 3.27: Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (Günel ve diğ, 2007). **50**
Şekil 3.28 : Bina mesnetli rüzgar türbinlerinin yapılarda kullanılan farklı tipleri (Stankovic, Campbell, 2009). **50**
Şekil 3.29 : Rüzgar türbininin binanın üstünde bulunduğu hali, Tip- A. **50**
Şekil 3.30 : Rüzgar türbininin köşesi yuvarlatılmış binanın üstünde bulunduğu hali, Tip - B. **51**
Şekil 3.31 : Rüzgar türbininin, rüzgara tünel etkisi oluşturacak kütleleri bulunan binanın üstünde bulunduğu hali, Tip -C. **52**
Şekil 3.32 : Rüzgar türbininin, bina cephesinde bulunan tünel etkisi oluşturacak kare bir boşluğun içinde bulunması hali Tip - D. **53**
Şekil 3.33 : Rüzgar türbininin, bina cephesinde bulunan tünel etkisi oluşturacak kare bir boşluğun içinde bulunması hali Tip - E. **53**
Şekil 3.34 : Rüzgar türbinlerinin binanın yan cephesinde bulunması hali- Tip F. **54**
Şekil 3.35 : Rüzgar türbinlerinin iki bina arasında bulunması hali- Tip G. **54**
Şekil 3.36 : Engel yüzünden türbülansın oluşmaması için gerekli olan türbin mesafesi **57**
Şekil 5.1 : TOKİ Tarımköy projesine ait kat planı. **87**
Şekil 5.2 : TOKİ Tarımköy projesine ait A-A kesiti. **88**
Şekil 5.3: Tarımköy konutunun Design Builder'daki plan şeması. **88**
Şekil 5.4 : Modeli yapılan arazinin vaziyet planı. **89**
Şekil 5.5 : Tarımköy projesinin dış duvar, çatı ve taban detayları. **90**
Şekil 5.6 : Türkiye Rüzgar Atlası (http://www.mgm.gov.tr). **91**
Şekil 5.7 : Referans binanın vaziyet planında gösterimi. **92**
Şekil 5.8 : Dört farklı rüzgar bölgesindeki TOKİ konut projesi örneğinin mevcut durumdaki ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji yükleri. **93**
Şekil 5.9 : Rüzgar hızı- türbin gücü performans eğrisi (http://windenergy.com). **95**
Şekil 5.10 : Büyük güçlü türbin minimum yerleşim planı (Durak, Özer, 2008) **96**
Şekil 5.11: Türbinlerin konutların bahçelerine yerleştirilme şemaları. **97**
Şekil 5.12 : Farklı bölgelerdeki türbinlerin yıllık ürettikleri enerji.. **98**
Şekil 5.13 : Farklı rüzgar bölgelerindeki referans bina için hesaplanan yıllık toplam enerji tüketimleri. **98**
Şekil 5.14 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri. **101**
Şekil 5.15 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri. **103**
Şekil A.1 : Model geometrisinin oluşturulması. **119**
Şekil A.2 : Isıl zonlar için fonksiyon tanımlanması. **120**
Şekil A.3 : Bina Kabuğunun ve Malzeme Bilgilerinin tanımlanması, U degerinin belirlenmesi. **121**
Şekil A.4 : Açıklıkların belirlenmesi ve malzeme bilgilerinin tanımlanması. **122**
Şekil A.5 : Mekanik sitemlerin belirlenmesi. **123**
Şekil A.6 : Kullanım dönem ve saatlerinin programda belirlenmesi. **124**
Şekil A.7 : Simülasyon sonucunda her bir sistem için elde edilen toplam yakıt tüketimleri grafiği. **125**

Şekil B.1 : Türbin kurmadan önce verilecek teşviklerin seçilmesi ve türbinin ödeme seçeneklerinin belirlenmesi. **126**
Şekil B.2 : Türbinin yerleştirileceği arazinin özelliklerinin programa girilmesi. **127**
Şekil B.3 : Türbinin sistem maliyetleri ve gücüne ilişkin verilerin programa girilmesi. **127**
Şekil B.4 : Türbinin 30 yıllık nakit akış grafiği. **128**
Şekil B.5 : Türbin gücü eğrisi. **128**
Şekil B.6 : Türbinin yıllık üreteceği enerji miktarının verilmesi, türbinin amortisman süresinin ve getireceği gelirin belirlenmesi. **129**

BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMININ FARKLI BÖLGELER AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA : TOKİ TARIMKÖY PROJESİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Türkiye'de enerji kullanımının önemli bir kısmını konutlarda ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi kullanımı oluşturmaktadır. Son yıllarda toplu konut uygulamalarının giderek artması ile iklim bölgelerine bağlı olarak ısıl ve görsel konfor koşullarını sağlamak için ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi harcamalarının da artması çevre ve enerji sorunlarını gündeme getirmiştir. Günümüzde toplu konut uygulamalarının artmasında TOKİ (Toplu Konut İdaresi Başkanlığı) uygulamalarının etkin rol oynadığı bilinmektedir. Ülkemizde hızlı gelişen toplu konut uygulamalarında enerji etkin yaklaşımın göz ardı edilmesi ve dolayısıyla artan enerji ve çevre sorunları karşısında temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak çağdaş bir yaklaşımdır. Temiz ve yenilenebilir bir enerji olarak rüzgar enerjisi ülkemiz açısından önemli potansiyel olarak görülmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada TOKİ Tarımköy Konut uygulamalarından bir konut örneği ele alınarak farklı rüzgar bölgeleri için enerji yüklerinin hesaplanması ve enerji yüklerinin rüzgar enerjisi ile karşılanabilirliği irdelenmiştir. Çalışmada hedef, farklı rüzgar bölgeleri için TOKİ konutlarında kullanıcı konforundan ödün vermeden, rüzgar enerjisinden tüm enerji giderlerini sağlamaya çalışmaktır. Çalışma yedi ana bölüm ve ekler bölümünden oluşmaktadır.

Birinci bölümde çalışmanın giriş bölümü yer almaktadır. Bu bölümde enerji korunumunun önemi, çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölümde, rüzgar enerjisinin tanımı, tarihçesi ve günümüzdeki durumuna yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde rüzgar enerjisinin binalarda kullanımı anlatılmış, kullanım şekilleri ve amaçları incelenmiş, binaya entegre edilme şekillerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde rüzgar enerjisinin Türkiye'de kullanım örneklerine yer verilmiş, Dünyadaki bir kaç örnek de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Beşinci bölüm TOKİ Tarımköy projesi konut örneğinde farklı rüzgar bölgeleri için rüzgar enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik uygulama çalışmasını kapsamaktadır. Bu bölümde ele alınan TOKİ Tarımköy projesi konut örneğinin tanıtımı yapılmış ve seçilen bu konut örneğinin Türkiye'nin farklı rüzgar bölgelerinde olduğu kabul edilerek konutun ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi yükleri enerji simülasyon aracılığı ile hesaplanmıştır. Seçilen projenin enerji etkin geliştirilmesi hedefine yönelik olarak farklı rüzgar bölgelerinde farklı türbin alternatiflerin uygulanması durumunda üretilen elektrik enerjisi de hesaplanarak, konut enerji yüklerinin hangi oranda rüzgardan karşılanacağı belirlenmiştir.

Altıncı bölümde uygulama çalışmasında elde edilen bulgular tartışılmıştır.

Sonuç bölümünde rüzgar enerjisinin binalarda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmanın sonuçları ve rüzgar enerjisi kullanımı ile ilgili öneriler yer almaktadır.

Ekler bölümünde ise uygulama sonuçlarına ilişkin grafikler, uygulamada kullanılan simülasyon programının tanıtılması, ve uygulamada kullanılan rüzgar enerjisinden üretilen enerjinin hesaplanacağı programın tanıtılması yer almaktadır.

A STUDY FOR EVALUATION OF WIND ENERGY UTILIZATION IN BUILDINGS FOR DIFFERENT WIND REGIONS: IN THE EXAMPLE OF TOKI TARIMKOY PROJECT

SUMMARY

A significant portion of energy consumption of Turkey is used in heating, cooling and lighting of residential buildings. The increase in heating, cooling and lighting energy consumption to provide thermal and visual comforts depending on the climate regions, and the gradual increase in administration of housing estates have brought up environmental and energy problems. Nowadays, TOKİ (Housing Development Administration) applications are known to play an active role in the enhancement of housing estates. It is a modern approach to use clean and renewable energy sources for the increased environmental and energy related problems. These problems are due to disregarding of energy efficient approach in rapid development of housing estates in our country. As a clean and renewable energy source, wind energy is seen as an important potential in our country.

In energy efficient building wind energy can be used in two ways as active and passive. Passive systems as natural ventilation, appropriate structural form selection, wind chimneys, which are made by the correct orientation of the building, play a role in reducing the building's energy costs. Active systems such as wind turbines are used when passive systems alone are not sufficient. Wind energy is one of the most important potentials in our country to meet the increasing energy requirements due to developing technology and rapid construction and this study aims to show the usage of wind energy in buildings with active systems by presenting examples and data.

Therefore, in this study calculation of energy loads for different wind regions, and obtainability of energy loads from wind energy are investigated by addressing an example from TOKİ Tarımköy residence applications.

The residences in reference project which are chosen in the study are small residences that are 83 m2 and are chosen from Mugla-Yatagan Yesilbagcilar town. The reason that these residences were chosen is to examine the possibility of meeting all the energy costs in a low cost, small scale building by using wind energy.

This project which will be implemented in Mugla was assumed to be located in different wind regions. The calculations were made according to the situation were the reference project was located in 4 different regions. This regions are selected by the superpositioning of wind regions and climate zones.

The regions were designated as;

- 1st region (8-8,5m/sn)- Balıkesir-Bandırma,
- 2nd region (7-7,5 m/sn)-Mersin- Silifke,
- 3rd region (5,5-6m/sn)-Muğla-Yatağan ve
- 4th region (3,5-4m/sn)- Bolu-Gerede

The use of wind energy in buildings is quite widespread in many countries of Europe, with this study it was aimed there to be an example study of wind energy in Turkey. It was also aimed to examine its possible use in Turkey and to present the use of wind energy in buildings.

The aim of the study is to try to maintain all the energy expenses from the wind energy in different wind regions without sacrificing the resident comfort in TOKİ residences. The study consists of 7 main sections and appendices.

The introduction makes up the first section of the study. In this section the importance of energy conservation, the necessity of usage of renewable energy sources in buildings, and the aim and the scope of the study are indicated.

In the second section, the definition, history and the present state of the wind energy are taken into account. And the advantages and disadvantages of the usage of wind energy are discussed.

In the third section, the usage of wind energy in buildings is described, the developments about the use of wind energy in buildings around the world and in Turkey are mentioned, the forms of utilization and purposes of the wind energy are examined, and the ways in which these are integrated into buildings are mentioned, the wind turbines which are the active usage form of wind energy are described, the integrated forms of wind turbines into the buildings are shown by charts and figures, the advantages and the disadvantages of wind turbines and the ways into which these are integrated into buildings are explained.

In the fourth section, the usage of wind energy in buildings are illustrated and the examples of usage of wind energy in Turkey are mentioned and few examples from around the world are described in details.

The fifth section covers the application study regarding the evaluation of usage of wind energy for different wind regions in the TOKİ Tarımköy example. In this section, the example of TOKİ Tarımköy residence project has been introduced and the data relating to the project are given. It was assumed that this residence example is in different wind regions of Turkey, and the energy loads of heating, cooling, and lighting and energy loads originating from the system which are known as the other energy loads, hot water load, and energy loads originating from sockets and electrical devices of this residence have been calculated by an energy simulation. The extents to which the amount of these energy loads will be met by the wind turbines that are used in the reference project are determined.

The electrical energy produced by different turbine alternatives in different wind regions are calculated regarding the target of development of energy efficiency of the selected project and the extent to which residential energy loads will be met by the wind is established.

The different wind turbine alternatives applied in each wind region are determined according to;

- Turbine tower height
- Turbine power

The amount of energy that these wind turbines alternatives produce in each region are calculated and the effect of the different features of the turbines on the energy produced by the turbines is shown.

In the sixth section, the findings of the study are discussed.

In conclusion section, the findings of the study regarding the usage of wind energy in buildings and suggestions about the usage of wind energy are given and by these the dissemination of the studies regarding the usage of wind energy in residences are emphasized.

Appendices consist of the graphs of the findings of the study, the introduction of the simulation program used and the introduction of the program, which will be used in calculating the wind energy in the project.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve nüfus artışı, gittikçe artan bir enerji gereksinimine yol açmaktadır. Özellikle 1950'lerden önce, kömür, enerji üretim ve tüketiminde önemli bir yer tutarken bu yıllardan sonra, Ortadoğu ve Güney Amerika'da bulunan zengin petrol yatakları sayesinde, petrol ön plana geçmiştir. Her geçen yıl sürekli artan petrol fiyatlarının yanı sıra, dünya nüfusu da sürekli olarak artmakta, bu da enerji gereksinimini arttırmaktadır. 1975 yılında 4 milyar olan dünya nüfusu, bugün 6 milyarı geçmiştir. Daha hızlı kalkınma isteği ve buna paralel olarak artan enerji gereksiniminin yanı sıra, kullanılan fosil yakıtların atıklarının çevreye onarılamaz zararlar vermesi, alternatif yakıt arayışlarını arttırmıştır (Özdemir, 2005).

1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların kısıtlı kullanım sürelerinin olması, enerjinin elde edilmesi sırasında çevreye yapılan tahribat ve gelecek nesillerin de enerji ihtiyacı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır (Celayir, 2008).

Teknolojinin gelişimi, insanların iklimsel ve görsel konfor koşullarını gerçekleştirmek için binalarını ısıtmak, soğutmak, aydınlatmak amacıyla çözümler arayıp bulmasına yol açmıştır. Çözüm yolları zamanla çeşitlenmiş ve önceleri üretilen enerji büyük bir savurganlıkla harcanabilirken, sonraları enerji kaynaklarının sonsuz olmadığı anlaşılmıştır. Böylece, bu anlayış enerjinin verimli kullanılması gerektiği düşüncesinin ve alternatif enerji kaynaklarına dayalı tasarım yaklaşımının benimsenmesine yol açmıştır (Oral, 2010).

Ülkemizde enerji verimliliği çalışmaları son yıllarda önemli bir aşama göstermekle birlikte istenilen düzeye ulaşamamıştır. Ülkemizde hızlı yapılaşma, gelişen teknoloji ve kullanıcıların konforlu ve kaliteli yapma çevrelerde yaşam isteği enerji kullanımını arttırmakta ve artan enerji kullanımı çevre sorunlarına neden olmaktadır.

Bu sorunlar karşısında binalarda enerji etkinliğini sağlama önemli bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

Binalarda enerji etkinliğini sağlamada en etkin yollardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan çevre dostu binalar inşa ederek karbon emisyonlarını azaltmaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları denince akla gelen kaynakların en önemlilerinden birisi olan rüzgar şimdiye kadar binalarda kullanımı yaygın olmayan bir enerji kaynağıdır.

Su ya da toprak gibi farklı yüzeylerin güneş ışınlarını değişik oranlarda soğurması ve yansıtması, atmosferdeki ısı farklılıklarına sebep olmaktadır. Sıcak havanın da yükselmesiyle dünya yüzeyindeki atmosfer basıncı düşerek, soğuk olan hava kütleleri, yükselen havanın yerini almakta ve rüzgarı oluşturmaktadır (Günel ve diğ, 2007).

Yüzyıllardır insanlığa hizmet eden rüzgar enerjisi MÖ 5000'li yıllarda Nil Nehri'ndeki yelkenlilere güç sağlamış, daha sonraları yel değirmenleri ile tahıl öğüterek birçok alana yayılmış, kuyudan su çekmede ve elektrik üretmede kullanılarak geliştirilip günümüze kadar gelmiştir.

Temiz, yenilenebilir, tükenmez ve bedava olarak adlandırılan rüzgar enerjisi ülkemiz için önemli bir enerji kaynağıdır. 1kWh'lık elektriği rüzgardan üreterek 2,114 gr CO_2, 7,1 gr SO_2, 2,8 gr NOX, 0,9 gr CO ve 0,18 gr külün atmosfere karışması engellenmiş olmaktadır (Uğurel, 2000).

Enerji ihtiyacının %75'e yakınını ithal edip dışa bağımlı olan ve çoğunlukla yenilenemez enerji kaynaklarını kullanan ülkemiz için yenilenebilir enerji kullanımını arttırmak zorunlu bir gereksinimdir.

Avrupa ülkeleri ile karşılaştırıldığında, Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli oldukça iyi olan ülkelerden biridir. Türkiye'nin rüzgar teknik potansiyeli Türkiye'nin şu anda kurulu gücünün üç katına eşittir ve dolayısıyla Türkiye'de bir an önce rüzgar enerjisi ile ilgili çalışmalar hızlandırılmalıdır (Bayrakçı ve Delikanlı, 2007).

Avrupa'nın birçok ülkesinde kullanımı oldukça yaygınlaşan rüzgar enerjisi ile ilgili çalışmalar ülkemizde de başlangıç aşamasında yapılmasına rağmen, binalarda kullanımı üzerine önemli bir gelişme görülmemektedir. Ülkemizde binalarda

kullanılan enerji giderlerinin diğer giderlere göre çok önemli bir payı olduğu ve ülkemizin temiz ve tükenmez bir enerji kaynağına çok fazla ihtiyacı olduğu gerçeği ve ülkemizin rüzgar enerjisi potansiyelinin yüksekliği de göz önüne alındığında binalarda rüzgar enerjisini etkin bir şekilde kullanmak kaçınılmaz hale gelmektedir.

Enerji etkin bir binada rüzgar enerjisi pasif ve aktif olarak iki şekilde kullanılabilir. Binanın doğru yönlendirilmesiyle yapılan doğal havalandırma, uygun yapı formu seçimi, rüzgar bacaları vb. gibi pasif sistemler binanın enerji giderlerini azaltmada rol oynar. Pasif sistemlerin tek başına yeterli olmadığı koşullarda rüzgar türbinleri gibi aktif sistemler kullanılabilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı binalarda rüzgar enerjisi kullanımının Türkiye'nin farklı rüzgar bölgeleri için seçilen örnek bir konut projesi için irdelenmesi ve Türkiye'de yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak rüzgar enerjisinin kullanımına yönelik çalışmalara temel oluşturmaktır. Tez çalışmasında binalarda rüzgar enerjisi kullanımı, rüzgar enerjisi kullanımının aktif ve pasif biçimde binalara entegre edilme yöntemleri araştırılmış, rüzgar enerjisinin Türkiye'deki uygulamaları incelenmiş ve rüzgar enerjisinin en önemli kullanım ayağı olan türbinlerin farklı koşullarda ürettikleri enerji miktarları irdelenmiştir. Rüzgar enerjisinin binanın enerji yüklerini hangi oranda karşılayabileceğini belirlemek amacı ile TOKİ Tarımköy projesi konut örneğinde farklı rüzgar bölgeleri için rüzgar enerjisinin kullanımının değerlendirilmesine yönelik bir uygulama çalışması yapılmıştır. Ele alınan TOKİ Tarımköy projesi konut örneğinin Türkiye'nin farklı rüzgar bölgelerinde olduğu kabul edilerek konutun ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi yükleri enerji simülasyon programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Seçilen projenin enerji etkin geliştirilmesi hedefine yönelik olarak farklı rüzgar bölgelerinde farklı türbin alternatiflerin uygulanması durumunda üretilen elektrik enerjisi de hesaplanarak, konut enerji yüklerinin hangi oranda rüzgardan karşılanacağı belirlenmiştir. Böylece konutlarda rüzgar enerjisinin kullanımına yönelik çalışmaların yaygınlaştırılmasının önemi vurgulanmıştır.

2. RÜZGAR ENERJİSİNİN TANIMI, DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE RÜZGAR ENERJİSİ

Bu bölümde rüzgar enerjisi tanımlanmış kısaca tarihçesi ve günümüzde Dünya'da ve Türkiye'deki durumu açıklanmıştır.

2.1 Rüzgar Enerjisi

Yer yüzeyinin gerek duyduğu enerjinin tümü Güneş'ten gelir. Yer yüzeyi Güneş'ten her saat 10^{17} watt gücünde enerji alır. Güneş'ten gelen enerjinin yaklaşık %1-2'si rüzgar enerjisine dönüşür. Yani rüzgar enerjisi, hız enerjisine (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisidir denilebilir (Rüzgar Enerjisi, 2001).

Karalar, denizler ve atmosfer farklı özgül ısılara sahip oldukları için, Güneş'ten alınan enerji sonrasında farklı sıcaklıklara sahip olurlar. Yer kürede ortaya çıkan sıcaklık ve buna bağlı basınç farklılıkları, rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eden hava, "rüzgar" olarak isimlendirilmektedir (Rüzgar Enerjisi, 2001).

Rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en gelişmiş ve ticari açıdan en elverişli olanıdır. Bütünüyle doğa ile uyumlu, çevreye zarar vermeyen ve tükenme ihtimali olmayan enerji kaynağıdır. Sera gazı emisyonlarını önlemenin ötesinde, rüzgar enerjisi civa, kükürt, kükürt dioksit, ve azot oksit gibi zararlı fosil kirleticileri önlemekte, hava ve suyun daha temiz olmasını sağlamaktadır. Uygun rüzgar alanlarında fosil yakıtlar ve nükleer enerji ile rekabet edebilmektedir (Mangan, 2006).

2.2 Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi

Yüzyıllardır insanlığa hizmet eden rüzgar enerjisi MÖ 5000'li yıllarda Nil Nehri'ndeki yelkenlilere güç sağlamış, daha sonraları MÖ 2800 yıllarında Orta Doğuda kullanılmıştır. MÖ 17. yüzyılda Babil kralı Hammurabi döneminde Mezopotamya'da sulama amacıyla kullanılan rüzgar enerjisinin, aynı dönemde

Çin'de de pirinç tarlalarının sulanmasında kullanıldığı belirtilmektedir. Yel değirmenleri, ilk olarak İskenderiye yakınlarında kurulmuştur Persler MS 7. yüzyıl ortalarında dikey eksenli rüzgar değirmenlerini yaygın olarak kullanmışlardır (Celayir, 2008).

Türklerin ve İranlıların ilk yel değirmenlerinin MS 7. yüzyılda kullanmaya başlamalarına karşın, Avrupalılar yel değirmenlerini ilk olarak Haçlı Seferleri sırasında görmüşlerdir. Fransa ve İngiltere'de yel değirmenlerinin kullanılmaya başlaması 12. yüzyılda olmuştur .Tarımsal ürünleri öğütmek, su pompalamak, hızar çalıştırmak gibi amaçlarla geliştirilen yel değirmenleri, Avrupa'da Endüstri Devrimi'ne kadar hızla yayılmışlardır. 18. yüzyılın sonunda yalnız Hollanda'da 10 000 yel değirmeni bulunmaktaydı (Uçar, 2007).

18. yüzyılda Hollandalı göçmenler tarafından Amerika kıtasına taşınan rüzgar türbinleri, sanayi devrimi ile birlikte buhar makinelerine yenik düşmüş ve popülaritesini yitirmiştir. Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan ilk rüzgar türbini ise 17 metre çapında 144 adet rotor kanadından oluşmaktadır ve 1890 yılında Amerika'da General Electric şirketinin kurucularından olan Amerikalı Elektrik Mühendisi Charles F. Brush tarafından yapılmıştır. Avrupa‟da ilk rüzgar türbini ise 1891 yılında Danimarkalı Meteorolog Poul La Cour tarafından yapılmıştır (Yalçın, 2010).

1918 yılında 20-35 kW'lık türbinlerle, 120 kırsal merkezin elektrifikasyonu sağlanmıştır. İkinci Dünya Savaşı yıllarında rüzgar enerjisinde büyük gelişmeler olmuştur. Danimarkalı bir şirket olan F.L Smith 2 ve 3 kanatlı rüzgar tribünleri inşa etmiştir. Bunların en büyüğü 1941 yılında Vermont‘ da inşa edilen 1.25 megawatt Smith-Putnam makinesidir (Uçar, 2007).

Aynı yıllarda İngiltere ve Fransa'da da yapılan deneysel çalışmalar sonucunda farklı güçlerde ve farklı tiplerde rüzgar türbinleri üretilmiştir.

1960'lı yıllardan itibaren ise Almanya, Avusturya, İtalya ve Amerika'da da teknolojik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır (Uçar, 2007).



Şekil 2.1 : Putnam Rüzgar Türbini (Uçar, 2007).

1960'lı yıllardan sonra rüzgar enerjisinden elektrik üretiminde ekonomik nedenlerden dolayı azalma meydana gelmiştir. Daha ucuz olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz vb.) kullanılarak yapılan termik santraller popüler olmaya başlamış, rüzgar enerjisi bir duraklama dönemi yaşamıştır.

1973 dünya petrol krizi, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına gösterilen ilginin artmasına sebep olmuştur. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan fosil yakıtların kısıtlı kullanım sürelerinin olması, enerjinin elde edilmesi sırasında çevreye yapılan tahribat ve gelecek nesillerin de enerji ihtiyacı dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır (Celayir, 2008).

Dünya petrol krizi ile gündeme gelen ve yaygınlaşmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynakları ile dünya yeni bir krizden belki de rüzgar enerjisi ve onun gibi diğer temiz enerjiler ile kurtulabilecektir.

Rüzgar enerjisinin gelişimine, 1980'li yıllarda Uluslararası Enerji Ajansı eşgüdümünde yürütülen araştırma geliştirme çalışmalarının büyük etkisi olmuştur (Uçar, 2007).

1980'li yıllarda evlerin ihtiyacını karşılayabilecek küçük türbin tasarımlarının ardından 1981 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO)'nun yürüttüğü bazı deneylerde rüzgar enerji kaynağı olarak kullanılmış, rüzgar çiftlikleri kurulmaya başlanmış ve elektrik şebekeleri için üretim yapılmaya başlanmıştır (Yalçın, 2010).

Rüzgar enerjisinin ülkemizde de kullanımı eskilere dayanmaktadır. Örneğin İstanbul Kadıköy'de Yel Değirmeni Semti'nin adını oradaki çok sayıdaki değirmenden aldığı

tarih kaynaklarında belirtilmektedir. Osmanlı devletinde de Ortaçağ İslam devletlerinde olduğu gibi yel değirmenlerinin kontrolü "Muhtesi" lerce yapılırdı. Özellikle Ege ve Marmara Bölgesinde, yüzyıllar boyu hem tahıl öğütme hem de sulama amacı için yel değirmenleri kullanılmıştır. Avrupa ülkelerinde bulunan birçok yel değirmeni hala kullanılabilecek durumda iken; ülkemizin farklı bölgelerindeki yel değirmenleri oldukça kötü durumdadır.

Ülkemizde su çekme amacına yönelik olarak yel değirmenleri ise, özellikle Ege bölgemizde yaygın olarak kullanılmaktadır. Oldukça akıllıca tasarlanmış bu yel değirmenlerinden çıkan su, tulumba ve hortumdan geçerek yüksekçe bir havuzda toplanmaktadır ve oradan da tarla sulamasına gitmektedir. Dünyanın bütün ülkelerinde kullanımı eskilere dayanan rüzgar enerjisi, ülkemizde de tahıl öğütme ve su çekme amacına yönelik olarak birçok yerde kullanılmaktadır (Durak, Özer, 2008).



Şekil 2.2 : Manisa'da su pompalamak için kullanılan yel değirmeni.

2.3 Rüzgar Enerjisinin Avantaj ve Dezavantajları

Günümüzde rüzgar enerjisinin avantaj ve dezavantajları tartışılmaktadır. Örneğin, rüzgar enerjisinin en önemli kullanım kolu olan rüzgar türbinlerinin sosyal ve çevresel birçok zararı olduğu olgusu birçok kişi ve kurum tarafından konuşulmasına rağmen faydalarının çok daha fazla olduğu kaçınılmaz bir gerçek olarak kabul görmektedir.

Rüzgar enerjisinin avantajları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Rüzgarın hammadde ihtiyacı yoktur.
- Temiz enerji kaynağıdır.
- Sürdürülebilir enerji kaynağıdır. Çevresel koşullar uygunsa sürekli bir enerjidir.

- Enerjide dışa bağımlılığı azaltır.
- Sera gazı etkisini azaltır böylece küresel ısınmayı engeller.
- Fosil yakıt tüketimini azaltır.
- Rüzgar türbin santrallerinin kurulması diğer enerji santrallerine göre daha hızlıdır.
- Her geçen gün güvenilir olmakta ve ucuzlamaktadır.
- Rüzgar türbinlerinin kurulduğu arazi tarım alanı olarak da kullanılabilir.
- Orman alanlarının azalmasını engeller (Şen, 2009).

Rüzgar enerjisinin dezavantajları da aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- Gürültü
- Arazi kullanımı
- Kesikli olması
- Kuş hayatını etkilemesi (Şen, 2009) ve
- Türbinlerin elektromanyetik dalgalara zarar vermesidir.

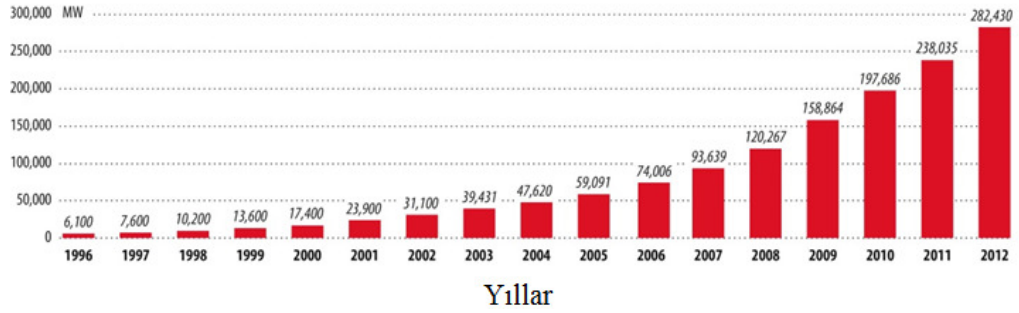
Bu dezavantajlar da rüzgar türbinlerinin ilk yıllarında daha fazla olmasına rağmen teknoloji geliştikçe rüzgar türbinleri de gelişmiş, gürültüsü ve elektromanyetik dalgalara zararı azaltılmıştır. Rüzgar çiftliklerindeki rüzgar türbinlerinin sesleri rahatsız eder boyutta olmasına rağmen, binalarda kullanılanların sesleri çok düşük boyuttadır. Bunun yanında binalarda kullanılacak rüzgar türbinlerinin yapma çevrede kalabalık ortamlarda kullanılmasının tehlikeli olduğu söylenmesine rağmen gelişen teknoloji ile türbinler yüksek hızlarda kendini frenleyebilen şekilde tasarlandıklarından parçalarının kopması gibi bir durum da söz konusu değildir.

2.4 Dünyada Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, enerji geleceğimizde ve iklim değişikliğini önlemede büyük bir role sahiptir. Halen dünyada en hızlı büyüyen enerji sektörlerinden biridir. Gelişmiş ülkeler sera gazı gaz emisyonlarından korunmak için dünyada rüzgar gücü geliştirmelerini teşvik etmek ve desteklemek zorundadır. Teknik olarak kullanılabilir toplam hazır küresel rüzgar kaynağı tahmin edilen toplam dünya elektrik talebinin iki mislinden daha büyüktür (http://www.enerji.gov.tr).

Rüzgar enerjisi 1990'lı yılların başından itibaren hızlı bir gelişme göstermiş Amerika ve Avrupa'da yaygınlaşmaya başlamış, son 2-3 yıl içinde Çin'deki yoğun kullanımın da etkisiyle Asya'da da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Rüzgar enerjisinden elektrik üreticileri 2012 yılı içerisinde 44,711 MW elektrik üreterek toplam dünya kurulu gücünü 282,482 MW'a çıkartmıştır (GWEC,2008). 80 ülkede faaliyete geçen rüzgar enerjisi üretim tesislerinden elde edilen elektrik Avrupa seviyelerinde elektrik tüketimi yapan 380 milyon insanın konut elektrik giderlerini sağlayabilecek kapasitedir. Bu değer oldukça yüksek bir değer olmasına karşın Dünya'daki elektrik enerjisinin yaklaşık %2 sini ancak karşılar durumdadır. Bu değer artan fosil yakıt fiyatları, enerji kısıtlılığı, iklim değişikliği ve yenilenebilir gelişmelere olan ilgi gibi nedenlerden dolayı ilerleyen yıllarda hızlı artması öngörülen bir değerdir.

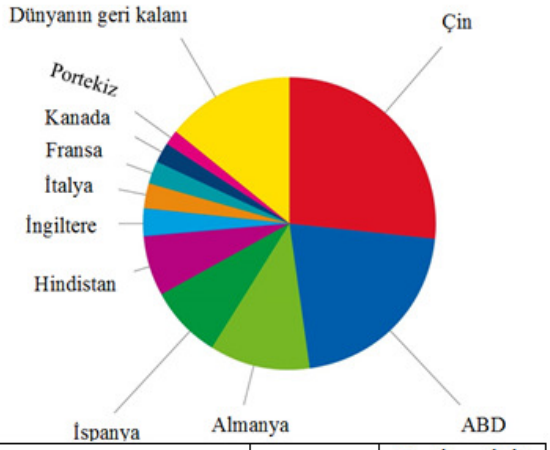


Şekil 2.3 : Dünya yıllık kümülatif artış 1996-2012 arası (GWEC,2008).

Dünya rüzgar kaynağı 53 TWh/yıl olarak hesaplanmakta, 2020 yılında dünya elektrik talebi artışının 25,579 TWh/yıl olacağı öngörülmektedir. 2020 yılına kadar dünya elektrik tüketimini %12 oranında rüzgar enerjisinden karşılama senaryosuna göre 2020 yılında 1,245 GW dünya rüzgar gücü hedefine ulaşmak için gereken yatırım miktarı 692 milyardır. Bu süre içinde üretim maliyetlerinin 3.79 e-cents/kWh'dan 2.45 e-cents/kWh'a düşmesi beklenmektedir. Yine bu süre içinde dünya çapında rüzgar endüstrisinde imalat, kurulum ve diğer iş kollarında 2.3 milyon iş imkanı sağlanacaktır(http://www.enerji.gov.tr).

Dünyadaki toplam kurulu güçte uzun yıllar Almanya başı çekerken, 2008 yılında Amerika Almanya'yı geçmiş liderliğe yükselmiş, 2010 yılında da Çin büyük ölçüde bir gelişim göstererek 1. Sıraya yerleşmiştir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi Çin toplamda %26,8 lik ve toplam 75,564 MW kurulu güç ile ilk sırada bulunurken, ilk

10 ülke Amerika, Almanya, İspanya, Hindistan, İngiltere, İtalya, Fransa, Kanada ve Portekiz olarak sıralanmıştır. İlk 10 ülkenin toplam kurulu gücü dünya kurulu gücünün %85,9 ile çok büyük bir kısmını oluşturmakta, diğer ülkeler küçük bir paya sahip bulunmaktadırlar.



Ülke	MW	Toplamdaki Payı (%)
Çin	75,564	26,8
ABD	60,007	21,2
Almanya	31,332	11,1
İspanya	22,796	8,1
Hindistan	18,421	6,5
İngiltere	8,445	3
İtalya	8,144	2,5
Fransa	7,196	2,5
Kanada	6,2	2,2
Portekiz	4,525	1,6
Dünyanın geri kalanı	39,853	14,3
En İyi 10 ülke Toplamı	**242,36**	**85,9**
Dünya Toplamı	**282,482**	**100**

Şekil 2.4: 2012 yılına göre Dünya Rüzgar enerjisi kurulu güç bakımından ilk 10 ülke (GWEC,2008).

Dünyanın kalan kısmında da rüzgar enerjisinden küçük miktarlarda faydalanılmakta ve teknik potansiyeline rağmen rüzgar enerjisini çok az miktarda kullanan ülkeler bulunmaktadır. Özellikle Afrika'da teknik potansiyel çok fazla olmasına rağmen kurulu güç oldukça düşüktür. Tüm ülkelerin rüzgar enerjisi üretimleri arttıkça Dünya'da rüzgar enerjisi üretimi istenen seviyelere yükselebilecek ve bunun sonucunda da temiz enerji kullanımı daha yaygınlaşacaktır.

2.5 Türkiye'de Rüzgar Enerjisi

Ülkemizde elektrik talep artışı yıllık yaklaşık %7-8 civarındadır. Bu oranla Türkiye, elektrik tüketim talep artışında dünyada Çin'den sonra ikinci sıradadır. Elektrik ihtiyacımızın karşılanmasında kullanılan doğalgaz ve sıvı yakıtların neredeyse tamamı, kömür yakıtların ise yaklaşık % 30'u ithaldir (T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012).

Ülkemizde kullanılan yakıtların çoğu yenilenemez yakıtlar olup CO_2 salımı ile çevreye zarar vermekte ve artan enerji talebi ile kullanılacak yakıtlarla birlikte bu çevre kirliliğinin büyük ölçüde artması öngörülmektedir. Artan taleplere rağmen Türkiye'nin kısıtlı enerji üretiyor olması ve kullanılan enerjinin çoğunun ithal ediliyor olması, ülkeyi bünyesinde fazlasıyla bulunan rüzgar enerjisi potansiyeline doğru yönlendirmektedir.

Türkiye rüzgar enerjisi kapasitesinde kurulu güç bakımından dünyada 16. Sırada bulunmasına rağmen enerji potansiyeli açısından çok daha ön sıralarda, Avrupa'da ise ilk sıralarda yer almaktadır.

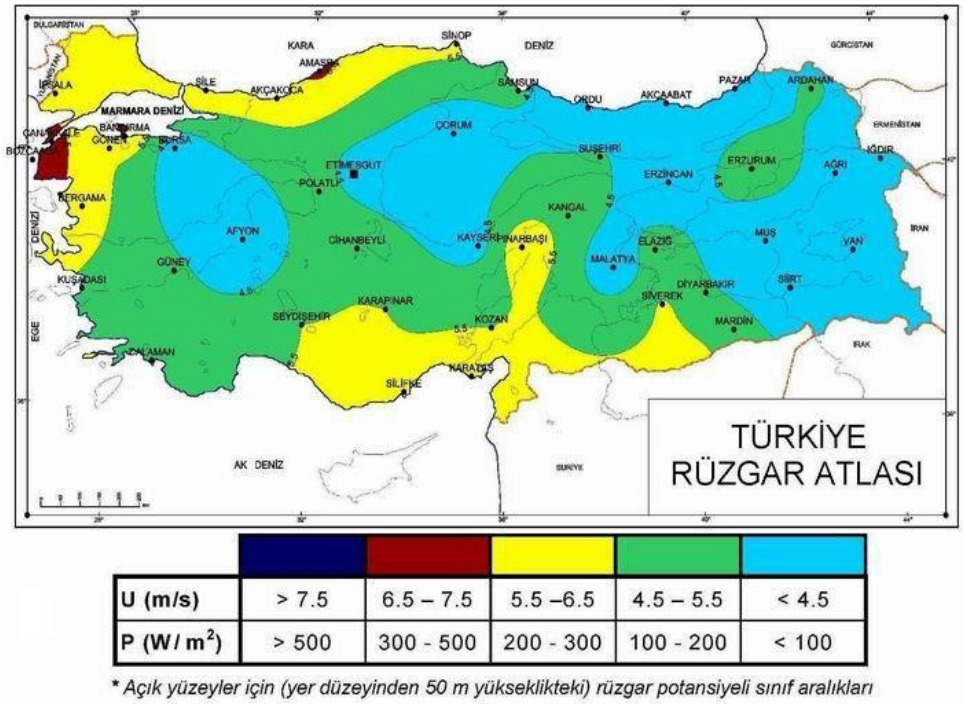
Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip alanlarda kilometrekare başına 5 MW gücünde rüzgar santralı kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Türkiye rüzgar enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan Türkiye yüz ölçümünün %1.30'una denk gelmektedir (http://www.eie.gov.tr).

1973-1978 yılları arasındaki petrol krizinden sonra Tarım Bakanlığı tarafından yapılan kırsal enerji makineleri envanterinde kullanılıp, kullanılmadığına bakılmaksızın 871 adet su çıkarma ve 23 adet elektrik üretim amaçlı rüzgar türbini olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu rüzgar makineleri 1 kW'ın altında güce sahip olup, yerli olanları ilkel yapılıydı. Türkiye'de rüzgar enerjisi üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar 1960'larda Ankara Üniversitesi, 1970'lerde Ege Üniversitesi daha sonraki yıllarda ODTÜ'de yapılmış olup, 1980'li yıllarda TÜBİTAK-MAM bünyesinde bazı çalışmalar yapılmıştır. MAM'da ilk rüzgar atlası çalışması başlatılmıştır. Gebze-Özbektepede pompa çalıştırma ve elektrik üretim amaçlı çeşitli rüzgar türbinleri kurularak denenmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), 1981 yılından bu yana rüzgar enerjisi

çalışmaları yapmaktadır. 1989 yılında bu kurumda Rüzgar Enerjisi Şube Müdürlüğü oluşturulmuştur (Uçar, 2007).

Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyelinin değerlendirilmesi ve tespit amacıyla, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü istasyonlarında yapılmış uzun dönemli ölçümlere dayalı istatistikler, EİE idaresi tarafından 1984'te tamamlanan "Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli" çalışmasında değerlendirilmiştir. Bölgelere göre rüzgar güç yoğunluğu verileri toplanmıştır (Uçar, 2007).

1990 yılında EİE idaresi Türkiye'nin rüzgar potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile "Rüzgar Enerjisi Gözlem İstasyonu" projesini başlatmış ve 11 adet rüzgar gözlem istasyonu kurulmuştur. 1990 yılından itibaren rüzgar potansiyeli olan seçilmiş alanlarda, rüzgar hızları ve yönleri ölçülmektedir. Daha sonraki yıllarda Türkiye Rüzgar Atlası Projesi kapsamında gözlem istasyonlarının sayısı artırılmış ve Türkiye Rüzgar Atlası çıkarılmıştır (Uçar, 2007). Şekil 2.5 Türkiye rüzgar atlasını vermektedir.



Şekil 2.5 : Türkiye rüzgar atlası (http://www.mgm.gov.tr).

Rüzgar enerjisi potansiyellerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu incelemede, rüzgar atlası istatistiklerini elde etmek için Danimarka Meteoroloji

Teşkilatı'nın Riso Meteoroloji Laboratuvarında hazırlanmış ve geliştirilmiş olan ve Avrupa Rüzgar Atlasının (European Wind Atlas) hazırlanmasında da kullanılan WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) paket programı kullanılmıştır. Türkiye genelinde seçilmiş istasyonlar için yapılan analizler sonucu elde edilen değerler kullanılarak Türkiye Rüzgar Atlası oluşturulmuştur.

Çalışmada, Türkiye üzerinde homojen dağılım gösteren 45 adet meteoroloji istasyonunun 1989-1998 dönemine ait saatlik olarak ölçülmüş rüzgar verileri kullanılmıştır.

DMİ kayıtlarından alınan saatlik ham rüzgar verilerinin istatistiksel analizleri, çalışma için özel olarak hazırlanan bilgisayar programları ve WAsP programı yardımıyla yapılmıştır.

2002 yılında hazırlanan Türkiye Rüzgar Atlasının hazırlanması için, mümkün olduğunca homojen dağılım gösteren 45 adet Meteoroloji İstasyonu değerlendirilmiştir.

Seçilmiş istasyonlar için hesaplanan ortalama rüzgar hızları (m/s) ile ortalama enerji yoğunlukları (W/m) kullanılarak 50m yükseklik için Rüzgar Atlası hazırlanmıştır (http://www.mgm.gov.tr).

Türkiye rüzgar atlasındaki bölgeler renklere göre aşağıda açıklanmıştır:

Koyu Mavi Bölge: Türkiye'de açık alanlardaki rüzgar hızı ortalaması 7,5 m/s'den büyük olan alanları göstermektedir. Bu alanlar Türkiye'de çok az olduğundan ve bu alanlar rüzgar türbini kurmak için küçük alanlar olduğundan bu bölge haritada bu ölçekte görülmemekte, il bazında olan Repa haritalarında bazı şehirlerde görülmektedir.

Kırmızı Bölge: Bu bölge açık alanlardaki 50 m. yükseklikteki rüzgar hızı ortalaması 6,5- 7,5 m/s olan alanları göstermektedir. Bu bölge rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan bir bölgedir. Örneğin Bandırma, Gökçeada, Bozcaada, Çanakkale, Amasra bu bölgede yer almaktadır.

Sarı Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması açık alanlarda 5,5- 6,5 m/s olan alanları göstermektedir. Sarı bölgeden ülkemizde birçok yer bulunmaktadır. Örneğin, Antakya, Bergama, Şile, Sinop, Edirne, Mersin bu bölgededir.

Yeşil Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 50 m. yükseklikte 4,5-5,5 m/s olan alanları göstermektedir. Türkiye'de yaygın bir dağılıma sahip olan bu bölge birçok şehri kapsamaktadır.

Açık Mavi Bölge: Bu bölge rüzgar hızı ortalaması 4,5 m/s'den küçük olan alanları göstermektedir. Bu bölge de Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu'nun bazı kesimlerini kapsamaktadır. Bu bölge rüzgar türbini kurmak açısından verimsiz bölge olarak sayılmaktadır.

Ülkemizde rüzgar enerjisinden elektrik elde etme amacına yönelik çalışmalar 1990'lı yılların hemen başında başlamışsa da, daha çok teorik çalışmalar seviyesinde kalmıştır. Bununla beraber, esas gelişme Türkiye'de halen işletilmekte olan ilk rüzgar çiftliği 1998 yılının şubat ayında, İzmir ilinin Çeşme ilçesine bağlı Germiyan köyünde kurulmasıdır. Her biri 500 kW olan üç türbini bulunan bu santral 1,5 MW'lk güce sahiptir. Bunu takiben yine Çeşme ilçesine bağlı Alaçatı köyünde Yap İşlet Devret modeli ile 7,2 MW'lk 12 adet türbinden oluşan ikinci bir rüzgar santrali işletmeye alınmıştır (Mehel, 2009).

Rüzgar potansiyelleri incelendiğinde rüzgar enerjisi potansiyel sıralaması;

• Marmara Bölgesi

• Ege Bölgesi

• Batı Karadeniz Bölümü

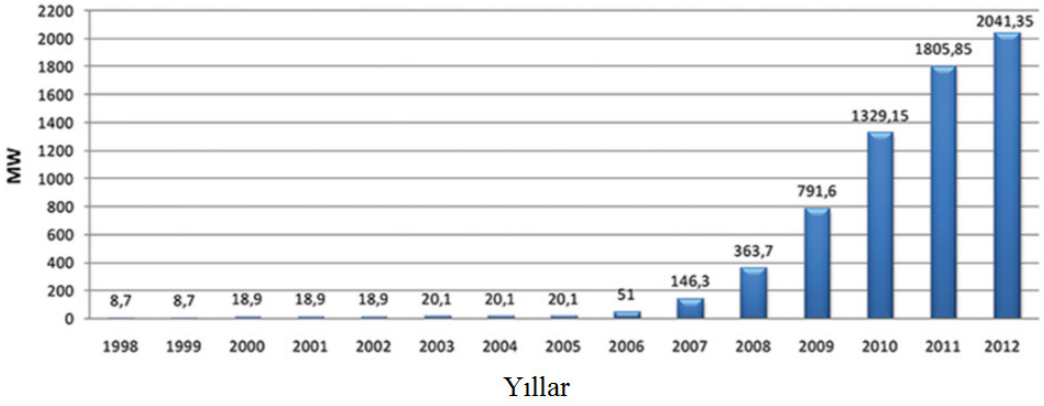
• İç Anadolu Bölgesi

• Güneydoğu Anadolu Bölgesi

• Doğu Anadolu Bölgesi olarak yapılabilir (Uçar, 2007).

Ekonomik büyüme panelinde Dünyanın en hızlı büyüyen piyasalarından biri haline gelen Türkiye, rekabetçi bir yapıya kavuşma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu

nedenle Dünya ve özellikle Avrupa stratejisi içinde Türkiye'nin yeri giderek artmaktadır ve Türkiye'de Temmuz 2012 itibariyle kurulu gücü 2000 MW'ı aşan rüzgar santrali bulunmaktadır (Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 2012).



Şekil 2.6 : Türkiye rüzgar enerji santrallerinin kurulu güç bakımından yıllara göre kümülatif dağılımı (Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, 2012).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Strateji Belgesi çerçevesinde enerjide 2023 hedefleri rüzgar enerjisindeki kurulu gücü 20.000 MW'a çıkarmak, güneş enerjisinde 3000 MW ve jeotermal enerjide 600 MW'a çıkarmak hedeflenmektedir. Bu oranlar Türkiye'de rüzgar enerjisinin tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok faydalanılabilecek ve geliştirilebilecek enerji türü olduğunun göstergesidir. Ülke olarak rüzgar enerjisinin üzerinde çalışılarak şu an için 2000 MW olan rüzgar kurulu gücünü 10 yıl içinde 10 katına çıkarmak ülkenin enerjide dışa bağımlılığını ve karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltacak bir hedeftir.

Kurulu gücü 20000 MW'a çıkarma hedefleri doğrultusunda yapılan çalışmalar arasında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tübitak Uzay ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ortak bir çalışma ile hazırladıkları Rüzgar Gücü İzleme ve Tahmin Merkezi (RİTM) ile Türkiye'de rüzgâr kaynağından büyük ölçekli elektrik enerjisi üretiminin gerçekleştirilebilmesi ve rüzgâr santrallerinin elektrik sistemine entegrasyonu için gerekli önlemlerin saptanması ve gerçekleştirilmesi amacıyla tasarlanan projede bir rüzgar gücü izleme ve tahmin sistemi geliştirilecek ve bu sistem Türkiye geneline yaygınlaştırılacaktır. Birçok rüzgar enerji santralinde ölçümüne başlanan projenin, tüm santrallere de yaygınlaştırılması beklenmektedir.

Son yıllarda Türkiye'de rüzgar elektrik santralleri konusunda atılan ciddi bir adım olan, 2,5 yıldır gizlilikle sürdürüldükten sonra 2011'in Temmuz ayında onaylanan proje 50 milyon liralık dev bütçeyle tamamen yerli türbin üretmeyi hedeflemektedir. 121 akademisyen'den oluşan dev bir kadroyla tasarım ve teknoloji geliştirme çalışmalarını yürüten ekip, 2013 sonunda, 500 kW gücündeki ilk Milli Rüzgar Enerji Sistemi, MİLRES'i çalıştırmayı planlamaktadır. 2014 yılında da 2,500 kW'lık büyük modelin bitirilmesi amaçlanmaktadır. 2023 yılına kadar 20.000 MW rüzgar enerjisi üretmek için 30 milyar doları rüzgar türbinlerine yatıracak Türkiye, bunun en az %25'ini kendi imkanlarıyla sağlamayı planlıyor. Bu organizasyonda Enerji Bakanlığı'nın başkanlığında Sabancı Üniversitesi, TÜBİTAK MAM, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii, İstanbul Teknik Üniversitesi ve İstanbul Ulaşım görev almaktadır (http://milres.org.tr/policy/).

Türkiye rüzgar enerjisini arttırmak için bu alanda kanunlar çıkarmış ve son yıllarda da bu kanunlar değişikliklerle geliştirmiştir.

Türkiye'de Bu Alanı Düzenleyen Kanunlar

- 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu Yürürlük Tarihi : 3.3.2001
- 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu Yürürlük Tarihi : 18.5.2005
- 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu Yürürlük Tarihi : 2.5.2007

"Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, verimlilik değeri %80 olan kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler ile, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami 500 kW' lık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır." Kanuna ilişkin "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" 21.Temmuz.2011 tarihli Resmi Gazetede yayınlanmıştır. Yönetmeliğe göre çıkarılması gereken uygulama tebliği de 10.Mart.2012 tarihli Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe girmiştir (Aydınoz, 2012).

Bu yönetmelik ile lisanssız elektrik üretimi de artmış, bireysel kullanıcıların da rüzgar enerjisi üretimine, iklim değişikliğini önlemeye ve CO_2 salımının azaltılmasına katkıları olması amaçlanmış, kullanıcılar bu yönetmelik ile desteklenmeye çalışılmıştır. Tüm bu yönetmelik ve hedefler doğrultusunda Türkiye

rüzgar enerjisi ile yeni tanışmış bir ülke olmasına rağmen, potansiyeli ile gelecek vadeden bir ülkedir.

Türkiye'nin enerjide dışarıya bağımlı olmayan bir ülke olabilmesi için var olan potansiyelini kullanabilmesi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmasının gerekli olduğu açıktır.

3. RÜZGAR ENERJİSİNİN BİNALARDA KULLANIMI

Rüzgar enerjisi 90'lı yıllardan bu yana yaygın olarak kullanılmasına rağmen binalarda kullanımı son yıllarda karşımıza çıkmaktadır. Temiz ve yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç rüzgar enerjisinin binalarda kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Bu bölümde rüzgar enerjisinin binalarda kullanımı ile ilgili Dünyadaki ve Türkiye'deki gelişmeler, binalarda kullanılan rüzgar enerjisi sistemleri, rüzgar enerjisinin binalarda kullanımını etkileyen tasarım parametreleri açıklanmıştır.

Dünyada yıllardır nitelikli örnekleri görülen rüzgar enerjisi,

- Evler
- İşletmeler
- Park, bahçe ve cadde aydınlatmaları
- Sinyalizasyon
- Sulama Sistemleri
- Karavan, tekne ve mobil istasyonlar.

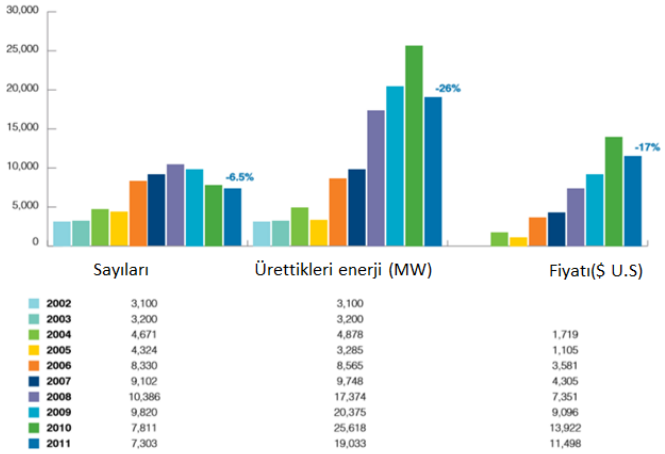
gibi elektrik ihtiyacı olabilecek her yerde kullanılabilmektedir (http:// www.egedenenerji.com).

Ülkemizde uzun yıllar sadece tarlaları sulamak için kullanılan rüzgar enerjisi 1998 yılından itibaren rüzgar santrali olarak da karşımıza çıkmaya başlamıştır. Küçük ölçekli ve binalarda kullanılan rüzgar enerjisi 2000'li yıllardan sonra çıkan kanunlarla teşvik edilmiş, yeni yeni örnekleriyle günümüzde kullanılmaya başlanmıştır. Evlerde, özellikle çiftlik evlerinde, park ve bahçe aydınlatmalarında, sinyalizasyon sistemlerinde kullanılmaya başlanmış ve Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik sayesinde ilerleyen gelişmelerle de önümüzdeki yıllarda artacak gibi durmaktadır.

3.1 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımı ile ilgili Dünyadaki gelişmeler

Dünyada büyük ölçekte rüzgar enerjisi üzerine yapılan çalışmalar hızla devam etmekteyken, küçük ölçekli rüzgar türbinine olan önemi kavrayan ülkeler de oldukça fazladır. Bazı ülkelerde rüzgar enerjisi için bilinçlendirme çalışmalarına öğrencilerden başlanmış, ilkokullar da dahil tüm okullara rüzgar enerjisinin önemini anlatan dersler konup, rüzgar enerjisi bilinci her bireye kazandırılmaya çalışılmıştır. Bu bilinç birçok kullanıcıyı kendi konutunun da enerji etkin olabilmesi için küçük ölçekli rüzgar türbinine yöneltmiştir.

2012 itibariyle rüzgar enerjisi üretim kapasitesinde Çin'den sonra 2. Sırada bulunan Amerika'nın rüzgar enerjisi üzerine küçük ölçekte de yoğun çalışmalar yaptığı American Wind Energy Association (AWEA) adlı örgütün her yıl yayınladığı küçük ölçekli türbin raporlarında görülmektedir.

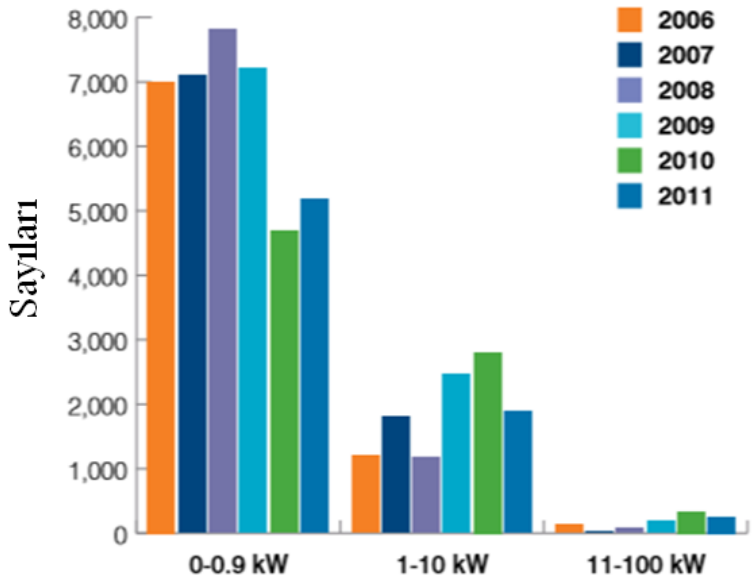


Şekil 3.1 : Amerika'da kurulan küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin sayıları, ürettikleri, ve fiyatları (AWEA,2011).

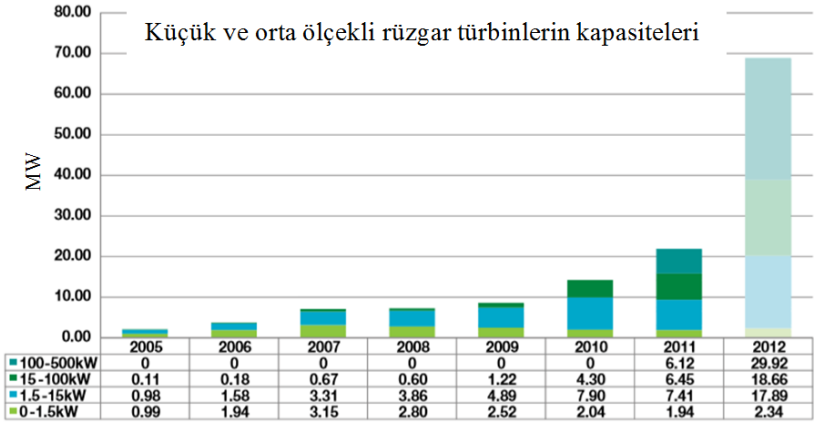
Şekil 3.1'de 2002 yılından 2011 yılına kadar 100 kW'dan küçük ölçekli rüzgar türbinlerinin sayısı, ürettikleri enerji ve fiyatları yer almaktadır. Bu tabloya göre 2008 yılına kadar rüzgar türbinlerinin sayısı artmış, 2008 yılından sonra küçük ölçekli rüzgar türbinine olan ilgi biraz azalmış, büyük ölçekli türbine olan ilgi artmıştır.

Rüzgar enerjisinden üretilen enerji sıralamasında 5. Sırada bulunan İngiltere'de ise küçük ve orta ölçekli rüzgar türbinlerinin kapasitesi ve ürettikleri enerji gün geçtikçe

artmaktadır. Konutlarda kullanılan 0-1,5 kW ve 1,5-15 kW'lık türbinlerin kapasiteleri Şekil 3.3'deki gibi verilmiştir.



Şekil 3.2 : Amerika'da farklı boyuttaki rüzgar türbinlerinin yıllara göre sayıları (AWEA,2011).

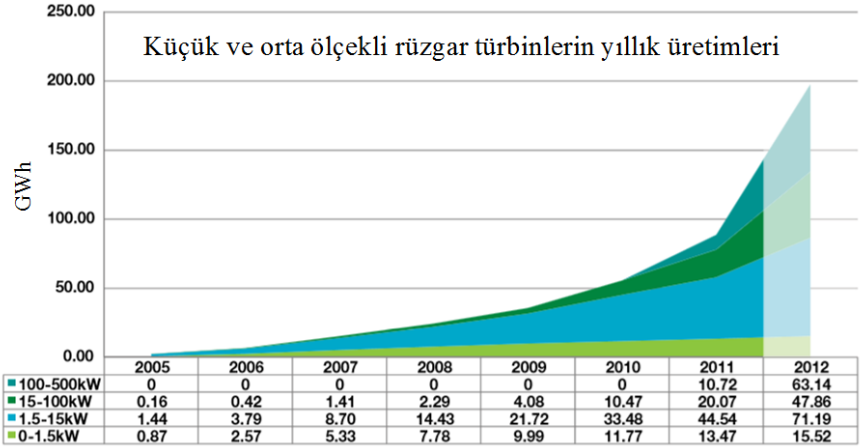


	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
100-500kW	0	0	0	0	0	0	6.12	29.92
15-100kW	0.11	0.18	0.67	0.60	1.22	4.30	6.45	18.66
1.5-15kW	0.98	1.58	3.31	3.86	4.89	7.90	7.41	17.89
0-1.5kW	0.99	1.94	3.15	2.80	2.52	2.04	1.94	2.34

Şekil 3.3 : İngiltere'de küçük ve orta ölçekli rüzgar türbinlerinin kapasiteleri (Renewable UK, 2010).

Bu türbinlerden üretilen enerji ise Şekil 3.4'de verilmiştir. 2011 yılında 0-1,5 kW'lık türbinlerden toplam üretilen enerji 44,54 GW, 1,5-15 kW'lık türbinlerden toplam

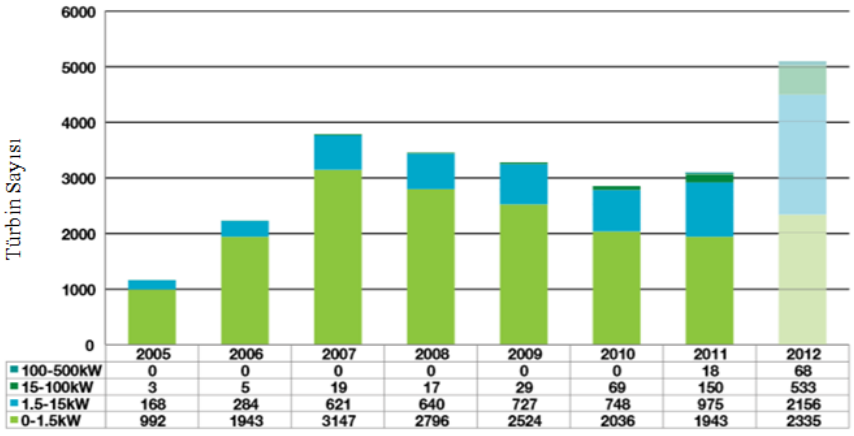
üretilecek enerji ise 13,47 GW olup, bu değerler azımsanmayacak büyüklüktedir.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
100-500kW	0	0	0	0	0	0	10.72	63.14
15-100kW	0.16	0.42	1.41	2.29	4.08	10.47	20.07	47.86
1.5-15kW	1.44	3.79	8.70	14.43	21.72	33.48	44.54	71.19
0-1.5kW	0.87	2.57	5.33	7.78	9.99	11.77	13.47	15.52

Şekil 3.4 : İngiltere'de küçük ve orta ölçekli türbinlerden üretilen enerji (Renewable UK, 2010).

Küçük ve orta ölçekli türbinlerin sayısı da 2005 yılından beri artmakta, 2007 yılından sonra 2010'a kadar görülen azalma da bina montajlı türbinlerden kaynaklanan azalmadır. Bina montajlı türbinlerin verimli olmadığı, ve tehlikeli olduğu görüşleri ortaya çıktıktan sonra kullanıcıların 2007'den sonra bina montajlı türbinlerden vazgeçtikleri görülmüştür. 2011'de küçük ve orta ölçekli rüzgar türbinlerine verilen teşviklerin de artmasıyla 2012'de kurulacak olan rüzgar türbin sayısının büyük bir artış göstermesi beklenmektedir.



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
100-500kW	0	0	0	0	0	0	18	68
15-100kW	3	5	19	17	29	69	150	533
1.5-15kW	168	284	621	640	727	748	975	2156
0-1.5kW	992	1943	3147	2796	2524	2036	1943	2335

Şekil 3.5 : İngiltere'de kurulan rüzgar türbinlerinin sayıları (Renewable UK, 2010).

Amerika'da da İngiltere'de de küçük ölçekli rüzgar enerjisi için verilen teşvikler gün geçtikçe artmaktadır. Kullanıcılar için çok cazip boyutlara ulaşan teşvikler küçük ölçekli rüzgar türbini kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

Dünyada rüzgar enerjisinin binalarda kullanımı ülkemize göre oldukça yaygın durumda bulunmakta ve nitelikli örnekleri ile karşımıza çıkmaktadır. Dünyanın farklı yerlerinden gökdelenlerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan rüzgar enerjisinin bina monte şekilleri farklı tasarımlarda olmakta, bu da mimariye farklı bir görsellik kazandırmaktadır.



Şekil 3.6 : Dubai'de yapımı planlanan rüzgar türbini entegre The Lighthouse binası (Tosun, 2010).



Şekil 3.7 : Amerika Miami'de rüzgar türbini entegre Ecological House binası (Tosun, 2010).

Dünyanın bazı yerlerinde rüzgar enerjisini yaygınlaştırmak için yapılan çalışmalar ilkokul ölçeğinden, devlet bünyesine kadar uzandığından bilinçli kullanıcı sayısı da oldukça fazladır. Bazı bölgelerde ise oldukça büyük potansiyelleri olmasına rağmen

rüzgar enerjisi hiç kullanılmamakta, enerji sıkıntısı çekilmektedir. Rüzgar enerjisi kullanımının Dünyanın tüm ülkelerine yayılabilmesi için küresel ölçekte politikalar benimsenmeli, bu politikalar enerjinin en çok kullanıldığı alan olan binalara entegre edilecek türbinleri de içermelidir. Binalarda kullanılacak rüzgar türbinleri ile üretilecek enerji azımsanmayacak derecede olup, bu değerin tüm ülkelerce farkedilmesi lazımdır. Rüzgar enerjisinin binalarda kullanılması küresel ısınma ile karşı karşıya kalan dünya için küçük görünen oldukça önemli bir adımdır.

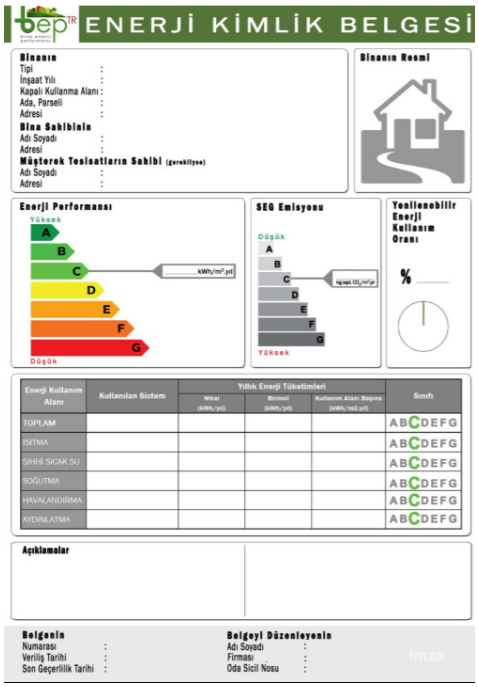
3.2 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımı ile ilgili Türkiye'deki gelişmeler

Türkiye'de son yıllarda çevre ile ilgili bilinçlenmenin ve bu konudaki çalışmaların yoğun olarak arttığı, yasal düzenlemelerle AB uyum süreci kapsamında; binalarda enerjinin verimli kullanılması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili kanun ve yönetmeliklerin oluşturulmaya başlandığı görülmektedir. Türkiye'de binalarda birim alanı veya hacmi ısıtmak için harcanan enerjinin Avrupa ülkelerine göre 2-3 kat daha fazla olması nedeniyle 14 haziran 2000 yılında Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikle yeni inşa edilecek binalara ısı yalıtımı zorunluluğu getirilmiştir. Böylelikle binalardaki ısı kayıplarının azaltılması, enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır.

5 Aralık 2008 tarihinde yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, yeni ve 1000 m2'den büyük mevcut binaların Enerji Kimlik Belgesi almasını yasal olarak zorunlu kılar. Binaların Enerji Kimlik Belgesi alabilmesi için, enerji performanslarının belirlenmesi gerekir. Bir binanın enerji performansının belirlenmesi, binanın m2 başına düşen yıllık enerji tüketiminin belirlenmesi, bu değere göre CO_2 salımının hesaplanması, bu değerlerin referans bir binanınki ile kıyaslanması, kıyaslama sonucuna göre binanın A-G arası bir enerji sınıfına yerleştirilmesi ile gerçekleşir. Bina enerji kimlik belgesi Şekil 3.8'de verilmiştir.

Binalarda enerji üzerine yapılan çalışmaların yanında Türkiye'de rüzgar enerjisi üzerine çalışmalar 90'lı yılların başından beri sürmektedir. Bu çalışmaları Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (EİGM), Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB), Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ), ve T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordineli bir şekilde Türkiye

rüzgar enerjisi potansiyelinin ülke ekonomisine kazandırlması doğrultusunda ilerletmektedirler.



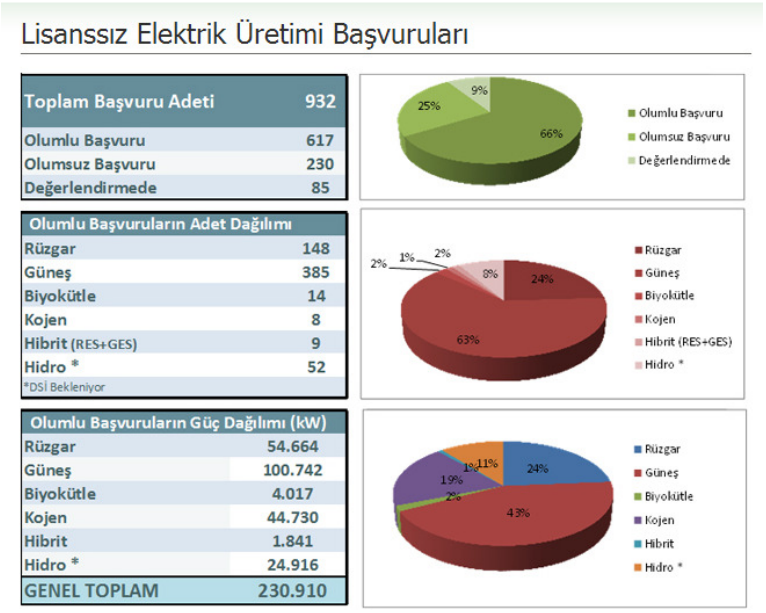
Şekil 3.8 : Enerji Kimlik Belgesi (Erkınay, 2012).

Yenilenebilir enerji çalışmalardan en önemlisi olan "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik" 21.Temmuz.2011 tarihli Resmi Gazetede yayınlandıktan sonra lisanssız elektrik üretim tesisi kurmak için başvurular başlamış, Mayıs 2013'de yayımlanan rapora göre de Şekil 3.9'daki değerlere ulaşmıştır. Lisanssız elektrik üretimi için yapılan 932 başvurunun 617'si olumlu bulunmuş 85'i ise değerlendirme aşamasındadır. Bu olumlu başvuruların 148'i rüzgar enerjisi başvurusu olup, bu başvuruların güç dağılımı da 54. 644 kW olarak belirlenmiştir. Güneşten sonra en çok başvuruya sahip olan rüzgar enerjisi başvurularının, önümüzdeki günlerde yoğun bir şekilde artması beklenmektedir.

Lisanssız elektrik üretimi için rüzgar türbini kurmak isteyenler, başvurularını tesisin kurulacağı yerdeki dağıtım şirketine yapacaklardır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak kurulacak elektrik üretim tesislerinden üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası kısmı tesisin kurulduğu bölgedeki

dağıtım şirketi aracılığıyla YEK Destekleme Mekanizması kapsamında değerlendirilmektedir. Kullanıcı elektriğini devlete değil bu dağıtım şirketine satmakta, devlet bu sistemin işleyişini garanti altına almaktadır.



Şekil 3.9 : Lisanssız Elektrik Üretimi Başvuruları (www.lisanssizelektrik.org).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak kurulan elektrik üretim tesislerinden üretilen elektriğin ihtiyaç fazlası kısmı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununa ekli I sayılı Cetvelden 10 yıl süreyle satın alınacaktır. 10 yıl sonra ne olacağı ilgili kanun hükümlerinde yapılacak düzenlemeyi müteakip açıklığa kavuşacaktır. Bu üretim tesislerinin kurulumunda yerli aksam kullanımında ise II sayılı Cetvelde öngerülen yerli aksam destek bedeli ödemesinden 5 yıl süreyle yararlanılabilir.

I Sayılı Cetvel	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Şekil 3.10 : Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun I sayılı Cetveli (6094 Sayılı Kanun,2010).

II Sayılı Cetvel		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A- Hidrolelektrik üretim tesisi	1- Türbin	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3

Şekil 3.11 : Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun II sayılı Cetveli (6094 Sayılı Kanun, 2010).

Lisanssız üretim tesislerinde üretilerek sisteme verilecek ihtiyaç fazlası enerjinin mahsubu üretim tesisinin tüketim tesisi ile aynı yerde olması veya aynı yerde olmaması halinde farklı olacaktır.

Üretim tesisi tüketim tesisi ile aynı yerde kurulu ise sisteme verilen ihtiyaç fazlası enerji çift taraflı ölçüm yapan sayaç vasıtasıyla günlük olarak ölçüleceğinden günlük tüketim günlük üretimden (24.00 itibariyle) mahsup edilecek ve sonuçta üretim fazlası varsa cetveldeki fiyat baz alınarak tl cinsinden fazlası üreticinin alacak hanesine yazılacaktır.

Üretim tesisi tüketim tesisi ile aynı yerde kurulu değilse sisteme verilen enerji ve sistemden çekilen enerji ayrı ayrı kaydedilir. Gün sonunda diğeri ile aynı işlem uygulanır. Ancak bu durumda diğer işlemler (dağıtım sistem kullanım bedeli, kayıp kaçak vb) hem sistemden çekilen hem de sisteme verilen enerji için ayrı ayrı yapılır ve işlem sonuçlandırılır.

Bu yönetmelikle, üretilen enerjinin fazlasının satılması ve yerli üretime verilen teşvikler ile binalarda rüzgar enerjisinin kullanımı yaygınlaşmaya başlayacaktır. Binalarda rüzgar türbinleri kullanımı halen yaygın olmasa da son yıllarda büyük ölçekli rüzgar türbin tarlalarında üretilen enerjinin binalarda kullanılması, binalarda yenilenebilir enerji kullanımı için büyük bir adım olmuştur. Bina bağımsız örnekleri şebekeden uzak yerlerde, müstakil konutlarda ve bir kaç fabrika binasında görülen rüzgar türbinlerinin, bina monte örnekleri de bu yönetmeliğe yapılan başvuruların uygulamaya konulması ile görülmeye başlanacaktır.

Türkiye'de binalarda pasif sistemlerle rüzgar enerjisinden etkin bir şekilde yararlanılmaktadır. Tasarımlarda yapının konumu ve biçiminin hakim rüzgara göre seçimi, doğru pencere kullanımı gibi doğal havalandırmayı sağlayan parametreler yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca sıcak iklim bölgelerinde avlulu çözümlerin kullanımı ile iç avluyu saran hacimlerin pencereler yoluyla soğuk havayı içeri alması sıcak havanının da dışarı atılması sağlanmaktadır (Erkınay, 2012).

Rüzgar enerjisini aktif kullanmanın yaygınlaştırılması için üniversitelerin yenilenebilir enerji araştırma merkezleri, Tubitak, yenilenebilir enerjiyi destekleyen birçok dernek ve rüzgar türbini üreticileri yoğun bir şekilde çalışmakta, rüzgar enerjisini binalarda kullanmaya teşvik etmektedirler.

3.3 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanımını Etkileyen Tasarım Parametreleri

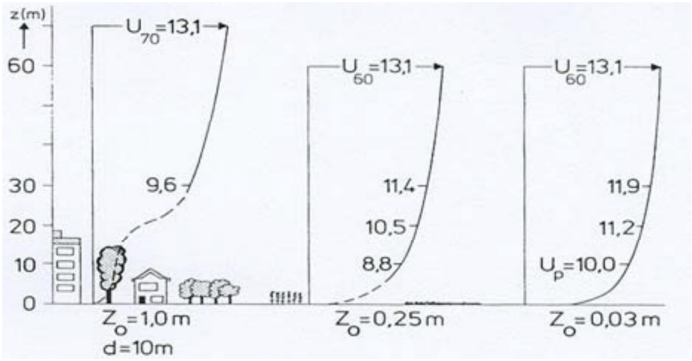
Rüzgar enerjisi binalarda kullanılmadan önce, potansiyeli belirlenirken bu enerjiye etki eden birçok parametre bulunduğu göz önüne alınmalı rüzgar enerjisi etkin tasarımlar bu parametreler düşünülerek tasarlanmalıdır. Bu parametreler rüzgar enerjisinin kullanıldığı yapının yeri ve topografyası, yapının yüksekliği, binanın etrafındaki engeller ve yapının formu olarak belirlenebilir.

Yer ve topografya

Yeryüzünden yaklaşık 1 km'ye değin yüksekliklerde rüzgar, yer yüzeyinin yüzey yapısından oldukça etkilenir. Hava kürenin alt katmanlarında rüzgar hızları sürtünmeye uğrarlar. Bu duruma arazinin pürüzlülüğü ve engeller neden olur. Pürüzlülük ne kadar çok ise rüzgar o kadar azalır (Rüzgar Enerjisi, 2001).

Yapı Şekil 3.12'de gösterildiği gibi kentsel bir alan içindeyse pürüzlülüğü artacak, ve rüzgar hızı düşecektir. Yükseklere çıkıldıkça ve binanın karşılaştığı engel azaldıkça, yani yapı kırsal alanda bulunduğunda rüzgar hızı artar (http://www.wind-power-program.com).

Tepeler, sırtlar gibi topografyadaki ani değişiklikler, rüzgar hızının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bir tepe yakınında bulunan bir yapı, nispeten daha düz bir alanda bulunan bir yapıdan daha fazla rüzgar yükü alacaktır (Tosun, 2010).

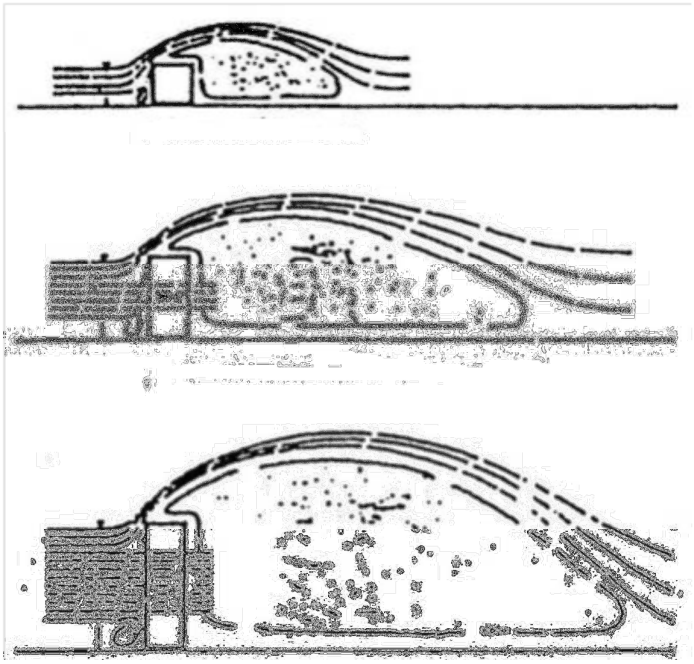


Şekil 3.12 : Rüzgar hızının kentsel alanda azalması (http://www.wind-power-program.com).

Yapı Yüksekliği

Yerden yükseklik arttıkça rüzgar hızı da artmaktadır. Bu nedenle rüzgar enerjisinin kullanılacağı binanın yüksekliği arttıkça binaya etkiyen rüzgar hızı da artacaktır (http://www.wbdg.org). Yapının yüksekliği arttıkça pürüzlülüğe maruz kalma olasılığı da düşeceğinden rüzgar hızı biraz daha artacaktır. Bu nedenle gökdelenler rüzgar enerjisinin kullanımı için en uygun yapılardır.

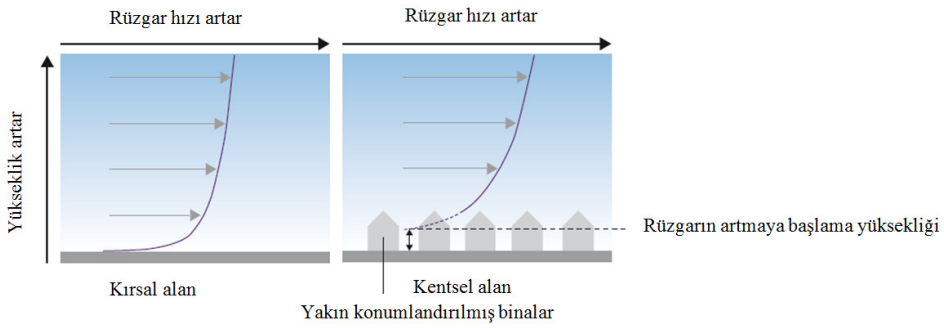
Dış engeller ve Bina Aralıkları



Şekil 3.13 : Yapı Yüksekliği ve Arka Tarafta Oluşan Etki Alanı (Erkınay, 2012).

Kent içindeki yapılaşma rüzgarın hızını düşürmektedir. Ayrıca kentlerde her geçen gün yapımı artan yüksek yapılar yükseklikleri ile kent rüzgar hızının ve yönünün değişmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek bir yapıya çarpan rüzgar, akımın geldiği yöndeki ön bölümde, aşağıya doğru yönlenir ve yüzey yakınında arzu edilmeyen rüzgar sirkülasyonuna ve hız artışına neden olur. Yüksek yapının arka bölümünde ise rüzgar hızında azalma meydana gelir. Yapı yüksekliği arttıkça arka tarafta oluşan rüzgar hareketinin etki alanı genişler, rüzgar hızı daha da azalır. Bu durum arka tarafta oluşan sakin hava alanını da arttırır. Şehirdeki yüksek yapılar taze havanın şehir içine girmesine ve kentin havalanmasına engel olur (Erkınay, 2012).

Kent içinde rüzgar hareketini yapıların yüksekliği dışında yapılar arasındaki mesafe de etkiler. Yan yana iki bina arasında boşluk olduğunda, yapıların rüzgarı engellemesi nedeniyle hava engelsiz bölümden sıkışarak ve hızla geçer ve aşırı rüzgar hızları meydana gelir. Bu olayın engellenmesinde yapıların uygun aralıklarla konumlandırılması önem taşımaktadır (Erkınay, 2012).

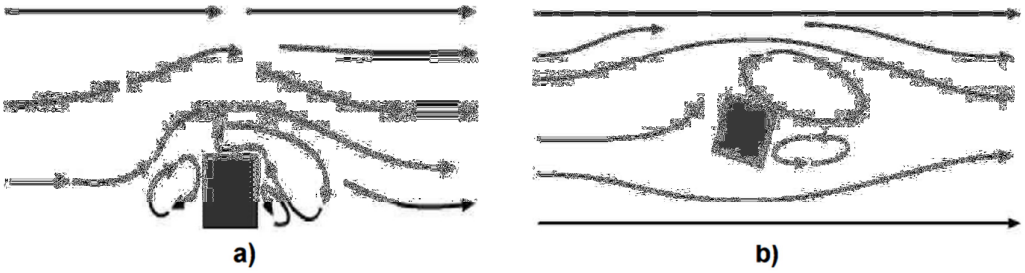


Şekil 3.14: Dış engellerin binanın hızına olan etkisi (http://www.carbontrust.com).

Yapının Formu

Binalardaki rüzgar etkileri ile ilgili kaygılar erken dönem insan yerleşimlerine kadar uzanmaktadır.

Yerleşim alanlarında en çok kullanılan kare formunda çok katlı bir yapının rüzgâr akışına etkileri Şekil 3.15'de görülmektedir. Daire halindeki bölge türbülansın olduğu alanı belirtir. Bu tur bir engelin olduğu yerde türbinin üreteceği yıllık ortalama enerji %15 civarında azalır (Kıyak ve diğ, 2009).



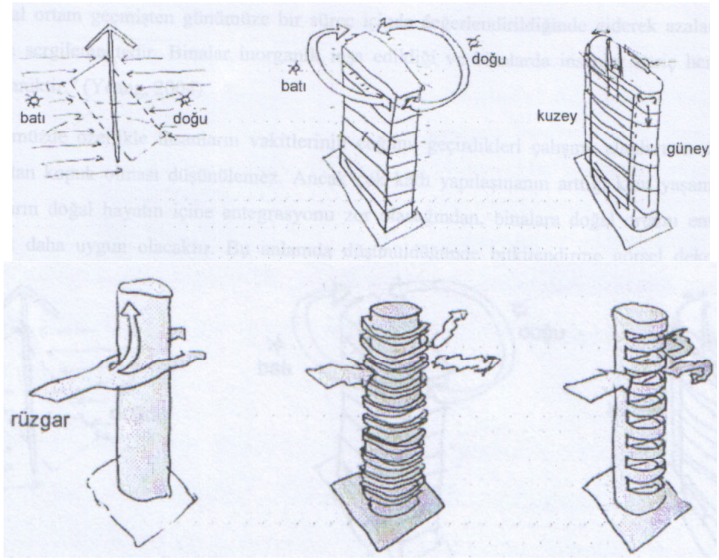
Şekil 3.15 : a) Kare şeklinde bir binanın çevresindeki rüzgar akışı b) Binanın üstten bakıldığında türbülans etki alanı (Kıyak ve diğ, 2009).

Yapıya etkiyen rüzgar, basınç katsayısını ve dolayısıyla yapıya etkiyen rüzgar yükünü etkilemektedir. Yapı formunun yanal direncin korunması üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Eğer yapı formu sadece dikdörtgenler prizması ile sınırlanırsa, bu form yanal rüzgar etkisine maruz kalmaktadır. Silindir, elips, üçgen ve diğer yapı formlarına, dikdörtgenler prizması şeklinde olan yapılardan daha az yanal kuvvet etki etmektedir (Tosun, 2010). Rüzgarın yapıya fazla gelmesinin statik açıdan zararlı etkilerinin olmasına rağmen, yapıların formunda yapılan aerodinamik değişikliklerle, bina etrafındaki rüzgarın akış yönü değiştirilip, binanın etrafındaki rüzgar enerjisi etkileri olumlu yöne çevrilebilmektedir (Günel, Ilgın, 2007). Yapı formunun rüzgarın yanal etkilerini azaltmak için değiştirilmesi de özellikle yüksek binaların tasarım aşamasında düşünülmesi gereken önemli bir tasarım kriteridir.

Şekil 3.16'da rüzgarın etkisinde kalan yapının rüzgarın basıncını azaltmak ve binanın arkasına rüzgarı almak için yapılan cephe ve yapı formu eskizleri görülmektedir.

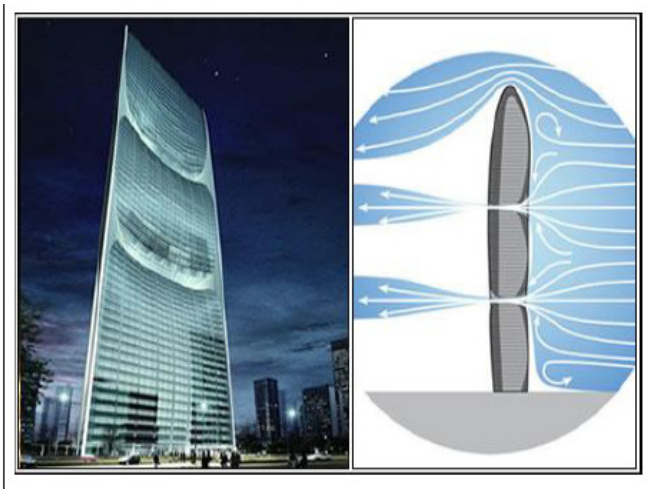
Rüzgarın olumsuz etkilerini azaltıp, olumlu etkilerini arttırmak için yapı formunda değişiklikler yapılabilir.

Bu değişiklikler; yapı plan kesitinin yükseldikçe küçülmesi, yapının en üst kısmının heykelsi görünüme kavuşması gibi yapı formundaki değişiklikler ya da yapıda oluşturulan açıklıklar ile mimari konsepti etkileyen önemli ölçüde değişiklikler olabilir. Köşe modifikasyonları, kuvvetli rüzgar yönüne göre binanın yönünün ayarlanması gibi değişiklikler ise mimari konsepti etkilemeyecek küçük ölçüde yapılabilecek değişikliklerdir (Günel, Ilgın, 2007).



Şekil 3.16 : Rüzgar etkisi karşısında cephe eskizleri (Sezgin, 2005).

Yapılacak değişikliklere örnek olarak, Şekil 3.17'de verilen Pearl River Tower binasının tasarım aşamasında yapılan aerodinamik değişiklikler ile binanın maruz kaldığı yanal yükler azalmış, rüzgar enerjisi potansiyeli değişmiştir. Binada açılan açıklıklara eklenen rüzgar türbinleri ile binaya etkiyen rüzgar enerjisinden faydalanılmak istenmiştir.



Şekil 3.17 : The Pearl River Tower binası (Tosun, 2010).

Bu örnek yapıda; heykelsi üst görünüm, yapı cephesine açıklıklar eklenmesi, yapı formunun dörtgen form olarak tasarlanması, rüzgar türbinlerinin performansını artırıcı etkisi olan parametrelerdir. Binalar üzerinde görülen rüzgar enerjisi etkileri

yapının yüksekliği, yapının geometrisi (formu) ve yapı cephesine açıklıkların eklenmesiyle değişim göstermektedir.

Rüzgar enerjisi performansını artırmak için, Şekil 3.17'deki yapı yüksek olarak tasarlanmış, ancak rüzgar türbinleri yapının sadece üst bölümlerine değil alt bölümlerin katları arasına da yerleştirilmiştir (Tosun, 2010). Bu örnek ile, yapı formunda yapılacak değişimlerin binanın tasarım aşamasında düşünülmesi gerektiği, tasarımın en başından itibaren rüzgar enerjisi potansiyelinin arttırılabileceği görülmektedir.

3.4 Rüzgar Enerjisinin Binalarda Kullanım Türleri

Rüzgar enerjisinin kullanım alanları bina içi kullanımı ve bina dışı kullanımı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bina dışı kullanımı sulama ve sinyalizasyon iken yapılı çevredeki, özellikle de binalarda ve yerleşmelerde kullanımı, havalandırma ve enerji üretme (elektrik enerjisi) gibi alanlara hizmet etmektedir.

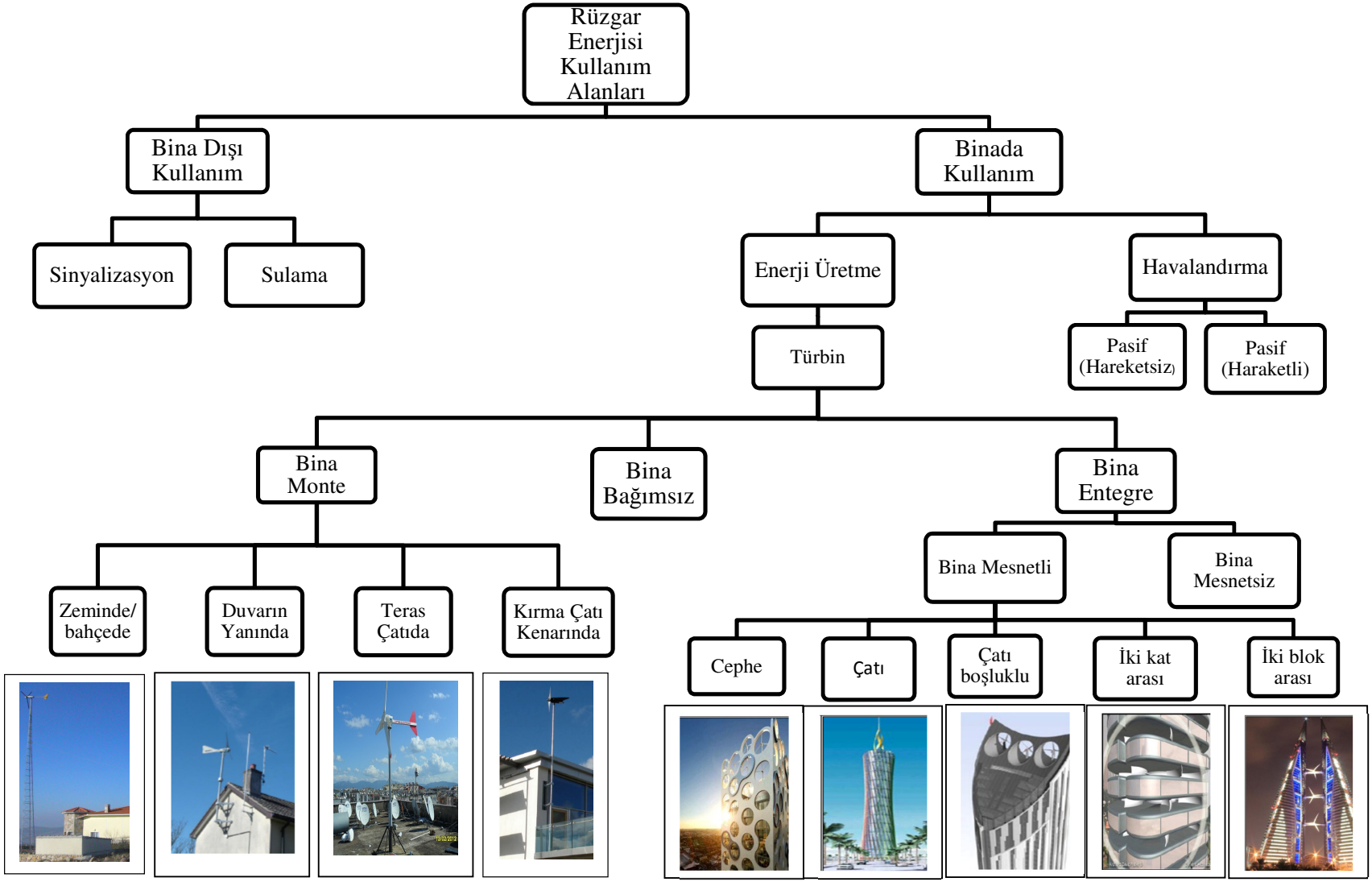
3.4.1 Rüzgar enerjisinin havalandırma için kullanımı

Doğal havalandırma hiçbir mekanik etki olmaksızın bir mekandaki kulanılmış havanın taze hava ile yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Yapılarda doğal havalandırma, açıklıklardan rüzgâr veya basınç farkı dolayısı ile oluşur. Açık pencerelerden, kapılardan veya doğal olarak havalandırma sağlamak için açılan bölgelerden sağlanan hava akımı ile iç ortamda uygun sıcaklık seviyesi sağlanabilir ve iç ortamdaki kirleticiler ortamdan uzaklaştırılabilir.

Doğal havalandırma ile, mekanik havalandırma ve iklimlendirmeye olan gereksinim azalıltarak, fosil tabanlı enerji kullanımından önemli bir tasarruf sağlanabilir. İklimlendirme ile ilgili elektrik enerjisi kullanımının azalması ile enerji sağlayan elektrik üretim alanlarından sera gazı emisyonları salımı da azalacaktır.

Doğal havalandırma konfor havalandırması, çapraz havalandırma, baca havalandırması, rüzgar kulesi ile havalandırma, gece havalandırması olarak geleneksel yapılarda kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 : Rüzgar enerjisinin kullanım alanlarının sınıflandırılması.



Örneğin geleneksel mimaride önemli örnekleri bulunan özellikle Kore, İran ve Fas evlerinde kullanılan doğal havalandırma sistemleri günümüzde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 3.18'de örnek olarak İngiltere'deki Breeam binasının güney cephesinde görülen 5 ayrı havalandırma bacası pasif havalandırma sağlamaktadır (Yüksek, Esin, 2011).



Şekil 3.18 : İngiltere'deki Breeam Binasının rüzgar bacaları (Yüksek, Esin, 2011).

Doğal havalandırma hareketsiz parçalarla olduğu gibi hareketli parçalarla da yapılabilmektedir. Bu hareketli parçalar rüzgar tarafından harekete geçirilip rotor özelliği gösteren aktif parçaları sayesinde mecburi bir havalandırma sağlamaktadır (Günel ve diğ, 2007).

3.4.2 Rüzgar enerjisinin enerji üretme için kullanımı

Güneş ışınımlarının Dünya üzerindeki farklı dağılımlarının oluşturduğu sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımları dolayısıyla rüzgârlar oluşmaktadır. Rüzgârların hava akımlarından dolayı sahip olduğu kinetik enerjinin elektrik enerjisi veya mekanik enerji olarak kullanılabilmesi için rüzgâr türbinleri geliştirilmiştir (Erdoğan, 2010).

Son 30 yıldır yaygın şekilde rüzgar santrali olarak karşımıza çıkan rüzgar türbinleri, günümüzde binalarda enerji üretmek için kullanılan küçük rüzgar türbinleri olarak da gelişme göstermiştir. Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde akülere depolama şeklinde başlayan binalarda kullanılan rüzgar enerjisi şimdi ülkemizde elektrik dağıtım şirketlerine de satılabilmekte ve kullanıcılar için daha cazip hale gelmektedir.

Rüzgar enerjisi nitelikli olarak büyük ölçekli rüzgar enerjisi santrallerinde kullanılmaktadır. Ancak bu tez kapsamında, rüzgar enerjisinin küçük ölçekli uygulama alanları ele alınmış ve bu sistemlerin binalarda kullanımları açıklanmıştır.

Rüzgar enerjisinin enerji üretmek için küçük ölçekli kullanımı yaygın olarak binalarda şebekeye bağlı olarak olmasına rağmen, farklı kullanımları da mevcuttur. Şebekeden çok uzak yerlerde, çiftliklerde ve elektriğin ulaşamadığı yerlerde ada sistemler olarak ya da güneş enerjisi ile hibrid sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Hibrid sistemler en az iki enerji kaynağının bir araya gelerek enerji ürettiği sistemlerdir. Rüzgar ile beraber en çok güneş sistemi hibrid bir şekilde kullanılmakta ve bu sistemler çok verimli olmaktadırlar. Bu sistem rüzgar türbinleri ile güneş panellerinin birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Bu tip sistemlerde rüzgar estiği zamanlarda, rüzgardan elektrik üretimi yapılmakta ve güneş panelinin gündüz depo ettiği enerji, akü sisteminde biriktirilmektedir. Hava koşullarının yeterli olmadığı zamanlarda ise (rüzgar esmediği zamanlarda ya da kapalı havalarda) ya depolanan enerji, ya da şebekeden alınan elektrik ile takviye edilerek kullanılmaktadır. Rüzgar güneş hibrid sisteminde, rüzgar türbini, güneş modülü, regülasyon ünitesi, jenaratör ve akü sistemi bulunmaktadır Ayrıca ev ve endüstriyel tesislerde bu tip sistemler çatıya da rahatlıkla monte edilip kullanılabilir (Durak, Özer, 2008).



Şekil 3.19: Lüleburgaz'da hibrid bir sistem.

Küçük ölçekli rüzgar enerjisinin kullanıldığı başka uygulamalar da mevcut olmasına rağmen, bu kullanımlar günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu

uygulamalara en iyi örnek bazı araçların üstüne monte edilerek kullanılan sistemler olarak verilebilir (Durak, Özer, 2008).

Rüzgar enerjisinin binalarda enerji üretmek için farklı kullanımları olsa da, en çok rüzgar türbinleri ile karşımıza çıkmaktadır. Rüzgar türbinlerinin çeşitleri ve binalarda kullanılma yöntemleri ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır.

3.5 Rüzgar Türbin Sistemi

Rüzgar türbinleri, rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjiyi, elektrik veya hareket enerjisine dönüştüren sistemlerdir. 20 yıllık ömürlerinde yaklaşık 120.000 saat çalışacak şekilde tasarlanmış olan modern rüzgar türbinleri evler ve iş yerleri için elektrik üretmek ya da kamu hizmetine satılmak için kullanılmaktadır.

Rüzgarın hızı, rüzgar türbinlerinin ürettiği enerji miktarı açısından aşırı derecede önemli olup, rüzgarın sahip olduğu enerji, hızının küpü oranında değişmektedir.

$$Pturb = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3.\mathrm{Cp} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Genelde küçük türbinler için ortalama yıllık rüzgar hızının 4 m/sn ve yukarısı olması gerekirken, kamu ölçeğinde bir türbin için ise ortalama 6 m/sn gerekmektedir Buradan küçük rüzgar türbinlerinin daha az rüzgarlı ortamlarda bile verimli olabileceği, binalarda kullanılacak rüzgar türbininin ülkemizde çoğu bölgeye entegre edilebileceği görülmektedir (Günel ve diğ, 2007).

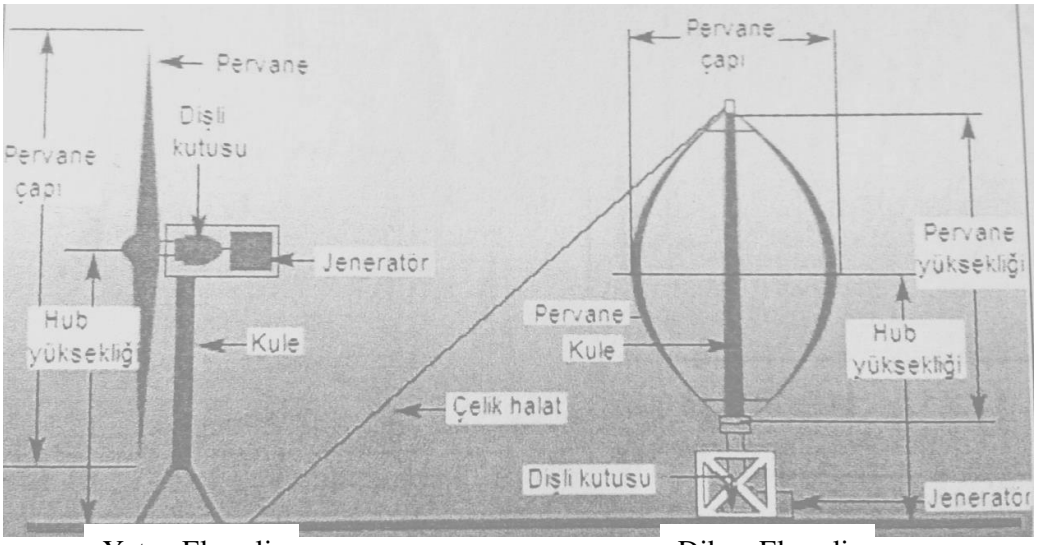
Rüzgar türbinleri eksenlerinin durumuna göre yatay ve dikey eksenli olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu iki tip türbin de binalarda kullanılabilmektedir.

3.5.1 Dikey eksenli rüzgar türbin sistemi

Dönme ekseni rüzgâr yönüne göre dik ve düşey yöndedir. Kanatların yüzeylerine gelen itme kuvvetinin farkından dolayı dönme hareketi oluşur (Erdoğan, 2010).

3.5.2 Yatay eksenli rüzgar türbin sistemi

Dönme ekseni rüzgâr yönüne paralel ve kanatları rüzgâr yönüne dik olarak geliştirilmiştir. Günümüzde genellikle bu tip rüzgâr türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisini maksimum güce çevirmek için dönme ekseni daima rüzgâr yönünde olmalıdır (Erdoğan, 2010).



Yatay Eksenli Dikey Eksenli

Şekil 3.20 : Yatay ve düşey eksenli rüzgar türbinleri (Durak, Özer, 2008).

3.5.3 Rüzgar türbininin verimini etkileyen parametrelerin belirlenmesi

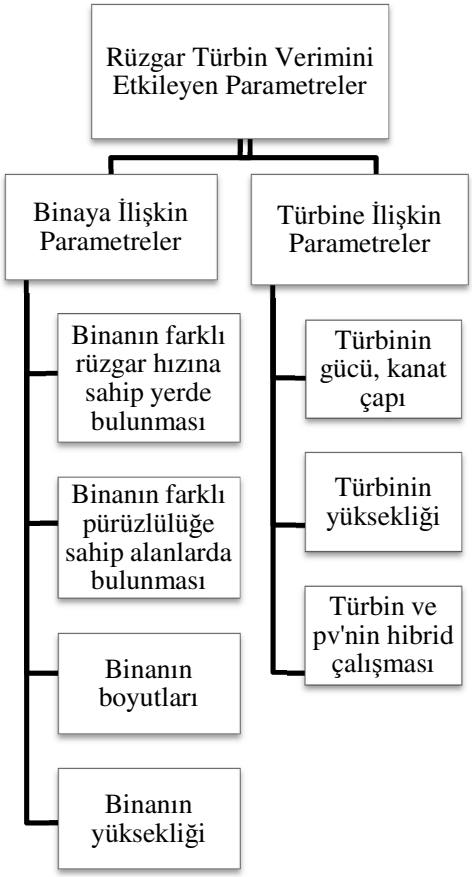
Rüzgar türbininin verimini belirlemek için binaya ve türbine ilişkin parametreler belirlenmelidir. Bu parametrelerin bir kısmı türbin tasarımında belirlenirken, bir kısmı da tasarımcı ya da kullanıcı tarafından türbin entegre edilirken belirlenmektedir. Türbinin entegre edileceği binanın, arazinin özellikleri ve türbinin özellikleri türbin verimini etkilemektedir. Tüm bu parametreler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

3.5.3.1 Binaya ilişkin parametreler

Binanın farklı rüzgar hızına sahip bölgelerde bulunması

Rüzgarın hızı, rüzgar türbinlerinin ürettiği enerji miktarı açısından çok önemli olup, rüzgarın sahip olduğu enerji, hızının küpü oranında değişmektedir. Rüzgar hızının 11 mil/saat'den 12 mil/saat'e çıkması üretilen enerji miktarında %33 oranında bir artış sağlamaktadır. Ayrıca, rüzgar sisteminin kurulumundan önce, seçilen alandaki rüzgar hızı, rüzgar kaynak değerlendirmesi yapılarak ölçülmektedir. Genelde, küçük türbinler için ortalama yıllık rüzgar hızının 4 m/sn ve yukarısı olması gerekirken, kamu ölçeğinde bir türbin için ise ortalama olarak 6 m'sn gerekmektedir (Günel ve diğ, 2007).

Çizelge 3.2 : Rüzgar türbin verimini etkileyen parametreler.



Binanın aynı yörede farklı pürüzlülüğe sahip alanlarda bulunması

Rüzgâr, yer seviyesinin yaklaşık 1 km üzerindeki yüksekliklerde yeryüzünün yüzey şekillerinden veya engebeliğinden hemen hemen hiç etkilenmez. Ancak 1 km' nin altındaki yüksekliklerde yer yüzeyinden dolayı sürtünmeler, rüzgâr hızını azaltmakta ve yönünü değiştirmektedir. Yeryüzü ne kadar çok pürüzlü veya engebeli ise rüzgâr hızı da o kadar az olacaktır. Rüzgar hızının yerden yükseklik arttıkça arttığı bilinmektedir. Bu rüzgar hızı artışı yüzey pürüzlülük katsayısı ile doğrudan ilişkilidir. Pürüzlü arazide rüzgarın pürüzlülüğü meydana getiren engellerden daha üst noktalardaki hızı daha yüksektir. Örneğin yüksek binaların bulunduğu bir şehir alanında binaların yüksekliğinden daha üst noktalardaki rüzgar hızı daha yüksektir (Vardar, Eker, 2009).

Pürüzlülük, rüzgar hızı profili üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu sebeple rüzgar enerjisi incelemelerinde alan pürüzlülüğü önemli bir parametredir. Rüzgar

atlası çalışmalarında 4 pürüzlülük sınıfı tanımlanmaktadır (Emniyetli, 2007). Bu sınıflandırma Çizelge 3.3'deki gibidir

Çizelge 3.3 : Pürüzlülük Sınıfları ve Arazi Özellikleri.

Pürüzlülük katsayısı (Z_0)	**Arazi Özelliği**
0,10 - 0,13	Pürüzsüz (deniz, kar, kum)
0,13 – 0,20	Az pürüzlü (kısa çim, kırsal alan)
0,20 – 0,27	Pürüzlü (ormanlar, banliyö)
0,27 – 0,40	Çok pürüzlü (şehir alanı, uzun binalar)

$$Vr = Vreff\left(\frac{H}{Hreff}\right)^{\mu} \qquad \textbf{(3.1)}$$

H: Kule Yüksekliği (m)

Hreff: Referans Yükseklik (m)

μ: Yüzey Pürüzlülük Katsayısı

Vr : Rüzgâr Hızı (m/s)

Vreff: Referans Rüzgâr Hızı (m/s) (Ata, Çetin, 2008).

Farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızı belirlenirken yüzey pürüzlülük katsayısı 3.1 bağıntısındaki gibi kullanılmaktadır.

Pürüzlülük uzunlukları başka bir çalışmada ise Çizelge 3.4'daki gibi belirlenmiştir. Bu çizelge yüzey şekillerinin daha iyi detaylandırıldığı bir çizelgedir. Pürüzlülüğün rüzgar hızı üzerinde etkisi olduğu ve rüzgar hızındaki küçük bir değişikliğin bile çıkan sonuçları oldukça etkilediği düşünüldüğünde, pürüzlülük uzunluklarının daha detaylı verilmesi uygun görülmüştür.

Çizelge 3.4 : Pürüzlülük sınıfı-pürüzlülük uzunluğu tablosu (Vardar ve diğ, 2005).

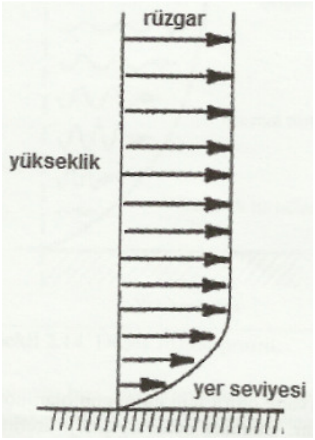
Pürüzlülük Sınıfı	**Pürüzlülük uzunluğu (m)**	**Enerji göstergesi (%)**	**Yüzey şekli**
0	0,0001	100	Su yüzeyleri
0,5	0,0024	73	Açık araziler (Beton, uçaklar için iniş alanı, otoban, biçilmiş çim vb.)
1	0,03	52	Uzak aralıklı yapılara sahip çitsiz ve engelsiz açık tarımsal araziler.(Çok az engebeli)
1,5	0,055	45	Birkaç binalı ve 1250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2	0,1	39	Birkaç binalı ve 500 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
2,5	0,2	31	Pek çok bina, çalı ve bitkiye sahip, yada 250 m mesafeli 8 m yüksekliğinde çitlere sahip tarımsal araziler.
3	0,4	24	Köyler, küçük şehirler, çok yada yüksek çitli tarımsal araziler, ormanlar, çok yoğun ve pürüzlü bölgeler.
3,5	0,8	18	Yüksek yapılara sahip büyük şehirler
4	1,6	13	Yüksek binalara ve gökdelenlere sahip büyük şehirler.

Binanın Boyutları

Binanın boyutunun artması kullanıcı sayısının ve tüketilen enerjinin de artmasına sebep olacağından binanın boyutunun rüzgar türbininin verimini ölçmek için bir ölçüt olduğu düşünülmektedir. Binanın boyutu büyüdükçe kullanıcıların tükettiği yük değişmese de yükler kısmında sistem yükleri olarak adlandırılan yükler artacağından rüzgar türbininin verimi bina boyutuna göre değişmektedir. Rüzgar türbini, küçük binalarda binanın enerji giderinin tamamını karşılayabilecek durumda iken, büyük binalarda enerji tüketimi fazla olacağından bazı durumlarda yarısını bile karşılayamaz. Binanın boyutlarının küçük tutulup, tüketiminin azalması ve bu tüketimin büyük kısmının rüzgar enerjisi tarafından karşılanabilecek olması binanın enerjide fosil yakıtlara ve dış merkezli yakıtlara olan bağlılığını azaltmaktadır.

Binanın yüksekliği

Yerden yükseklik arttıkça rüzgar hızı da artmaktadır. Bu nedenle rüzgar türbininin monte edildiği bina yüksekliği arttıkça binaya etkiyen rüzgar hızı da artacaktır (http://www.wbdg.org).



Şekil 3.21: Yükseklik ile rüzgar hızı değişimi.

Binanın yüksekliği arttığında rüzgar hızının artmasının bir sonucu olarak rüzgar enerjisi kazanım sistemleri bugüne kadar hep gökdelenlerde uygulanmış, birçok gökdelene tasarım aşamasında rüzgar türbini monte edilmiş, ve bina yüksekliğinden kule yüksekliği gibi faydalanılmıştır. Bu uygulama çalışmasında monte edilen türbin bina mesnetsiz türbin olduğundan, türbinin yalnızca binanın bahçesine monte edileceği düşünülüp, bina yüksekliğinin girildiği bir parametre bulunmamaktadır.

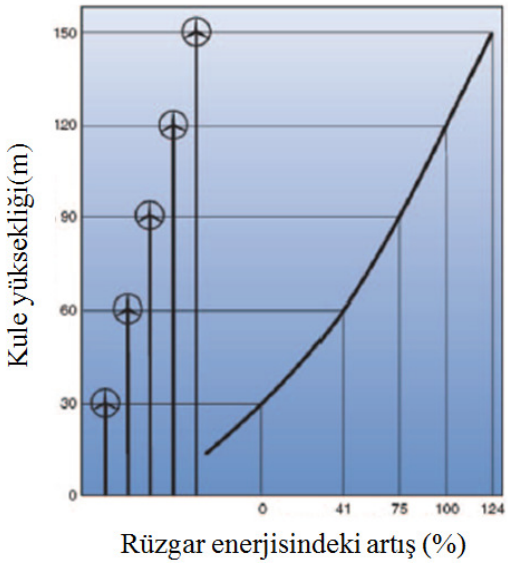
Bina yüksekliği bina monte türbinlerde rüzgar hızını etkileyen bir parametre olmasına karşın bu analizde yükseklik bina yüksekliği olarak değil, türbin kule yüksekliği olarak ele alınmaktadır. Türbin kule yüksekliğinin rüzgar enerjisine etkileri de bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

3.5.3.2 Türbine İlişkin parametreler

Türbinin kule yüksekliği

Yüksek türbinler küçük rüzgar türbin sistemleri için en ekonomik çözümlerdir. Yüksek türbinler ile düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde bile kaliteli ve verimli rüzgar hızları elde edilip iyi sonuçlara ulaşılabilir. Türbinler için en iyi noktalar türbinin en az engellendiği en yüksek noktalardır (AWEA, 2008).

Şekil 3.22'de rüzgar hızının türbin kule yüksekliği ile arttığı, bunun sonucunda da rüzgar gücünün çok daha büyük bir oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 3.22 : Rüzgar hızının ve gücünün yükseklikle artışı (AWEA, 2008).

Rüzgar türbin kule yüksekliği, rüzgar hızını artıracak önemli bir özelliktir. Rüzgar türbininin kule yüksekliğini arttırmak, türbini etraftaki binaların ve ağaçların oluşturduğu türbülanstan kurtarmaya yarayacağından rüzgar hızının artmasına sebep olmaktadır. Rüzgar gücü bağıntısında rüzgar hızının küpü kullanıldığından, hızın 2 kat artması gücün 8 kat artmasını ve türbinden daha fazla verim alınmasını sağlayacaktır.

Türbinin rotor kanat çapı, süpürme alanı ve rüzgar türbin gücü

Rüzgar türbin rotorunun çapı, rüzgar ile doğrudan temas yüzeyini oluşturmaktadır. Bu temas yüzeyinin artması, türbinin daha fazla rüzgara maruz kalmasını sağlayacağından rüzgar türbin verimini etkileyen önemli bir parametredir. Rüzgar türbininin gücünü belirleyen bağıntıdan da anlaşılacağı gibi rotor çapının oluşturduğu süpürme alanı($_A$), türbin gücünü belirlemede önemli bir etkendir.

Rüzgar türbin kanadının aerodinamik yapısının önemi ise, rüzgarın barındırdığı kinetik enerjinin maksimum %59'unun yararlı güce dönüştürülebiliyor olmasından kaynaklanmaktadır (Vardar, 2012).

$$Pturb = \frac{\rho}{2} \cdot A \cdot v^3 . \mathrm{Cp} \qquad \textbf{(3.2)}$$

Pturb: Türbin Gücü

$_\rho$*:* Hava yoğunluğu

A: Türbin süpürme alanı,

V: Rüzgar Hızı

Cp: Betz Limiti

Rüzgar gücü bağıntısından da görüldüğü üzere rüzgarın gücünü, havanın yoğunluğu, türbinin süpürme alanı ve rüzgar hızının küpü etkiler. Rüzgar hızının iki katına çıkması, türbin gücünün 8 kat artmasına sebep olmaktadır.

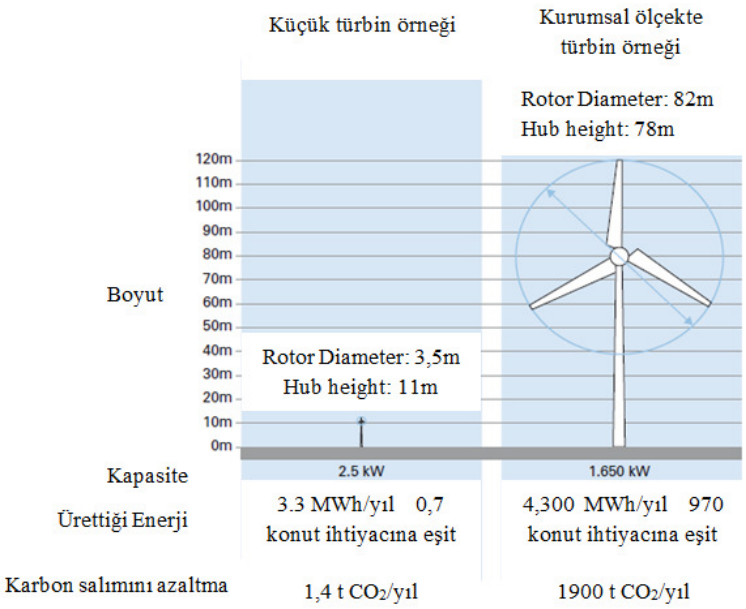
Rüzgar türbinleri, güç odaklı, eksen odaklı olarak ve şebeke bağlantı durumuna göre üç temel sınıfa ayrılabilir. Eksen odaklı türbinler yatay ve düşey olmak üzere bölüm 3.5' de anlatılmıştır.

Şebeke bağlantı durumuna göre ise türbinler

- Şebeke bağlantılı (on grid)
- Şebekeden bağımsız (off grid) olarak ayrılmaktadır.

Güç odaklı türbinler küçük güçlüler ve kurumsal olanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Binalarda kullanılan küçük güçlü türbinler mikro, mini ve ev tipi olarak ayrılırlar.

Küçük güçlü türbinlerin rotor çapı ve süpürme alanı da küçük olduğundan, ürettikleri enerji miktarları da bu nedenle daha az olmaktadır. Türbinlerin nominal güçleri arttıkça üretecekleri enerji miktarları artmaktadır. Şekil 3.23'de küçük güçlü ve büyük güçlü türbinlere ait iki örnek karşılaştırılmıştır. Küçük güçlü türbinin rotor çapı da türbin kule yüksekliği de küçük olduğundan yıllık ürettiği enerjinin küçük olduğu, büyük güçlü türbin ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Küçük güçlü türbin ile yılda 1,4 ton CO_2 emisyonu azaltılırken, büyük güçlü türbin ile yıllık 1900 ton CO_2 emisyonu azaltılmıştır.



Şekil 3.23 : Küçük ve büyük güçlü rüzgar türbinlerinin nominal güç ve rotor çapı gösterimi (http://www.carbontrust.com).

3.6 Binalarda Enerji Üretmek İçin Kullanılan Rüzgar Türbin Sistemleri

Binalarda kullanılacak rüzgar türbinleri büyük rüzgar santrallerinin aksine, daha az sesli, titreşimi az ve kuşlara neredeyse hiç zarar vermeyen türbinlerdir. Gelişen teknoloji ile binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin dezavantajları neredeyse yok denecek kadar azdır.

Rüzgar türbinleri şebekeden bağımsız ve şebekeye bağımlı olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Ülkemizde uzun yıllar sadece tarlaları sulamak için kullanılan rüzgar enerjisi 1998 yılından itibaren rüzgar santrali olarak da karşımıza çıkmaya başlamıştır. Küçük ölçekli ve binalarda kullanılan rüzgar enerjisi 2000'li yıllardan

sonra çıkan kanunlarla teşvik edilmiş, yeni örnekleriyle günümüzde kullanılmaya başlanmıştır. Son 1 yıla kadar ülkemizdeki binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin tamamı şebekeden bağımsız akülü sistemlerdi. Bu akülü sistemler özellikle, elektrik şebekesinin ulaşmadığı şehir dışı yerleşimler, çiftlik evleri, telekomünikasyon aktarıcıları, radyo ve orman kuleleri, balık çiftlikleri, seralar vb. yerlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktaydı (Kıyak ve diğ, 2009). Bu sistemlerde üretilen enerji akülerde depolanarak saklanmakta, ihtiyaç olduğunda da kullanılmaktadır. Bu sistemler akülerin depolama kapasiteleri küçük olduğundan tam verimli olamamakta ya da maliyetli olmaktadır. Son bir yılda 'Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik' sayesinde rüzgar türbinlerinden elektrik üretme maliyeti düşmüş, kullanıcı hem kendi üreteceği elektriği sağlamış hem de artan elektriği devlete satacak noktaya gelmiştir. Bu gelişme ile birlikte rüzgar enerjisinin binalara entegre edilme tasarım stratejileri gelişme gösterecektir. Daha önceleri ülkemizde genellikle bahçede kurulan rüzgar türbinlerinin önümüzdeki yıllarda binalara entegre edilecek şekilde de kullanılmaya başlayacağı düşünülmektedir.

Avrupa'da özellikle Hollanda, Almanya ve İspanya'da binalarda kullanılan rüzgar türbin sistemleri çok gelişmiş olduğundan, rüzgar türbinleri özellikle yüksek binalara entegre olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yerleşim yerlerinde kullanılması düşünülen rüzgar türbinleri çalışma şekline göre belirlendikten sonra binaya montaj sureci baslar. Bunun için birtakım verilerin daha önceden bilinmesi önemlidir. Türbinin verimi ve güvenliği için bina ustu rüzgâr hava akışı, uyguladığı kuvvetler, türbin boyutları ve türbinin enterkonnekte şebeke ile bağlantı durumlarının bilinmesi gereklidir.

Rüzgar türbini projelendirilmesi ve ekonomisi temel olarak montajın yapıldığı yapıdan üretilebilecek enerji miktarına bağlı olmaktadır. Bu enerji miktarının tespiti için bina üzerinde montajın gerçekleştirileceği noktanın belirlenmesi amacıyla o yerleşim alanının hem rüzgâr potansiyeli hem de topoğrafik yapısının bilinmesi gerekmektedir. Kurulması muhtemel noktalarda rüzgar potansiyelinin belirlenmesi amaçlı ölçümler yapılmalıdır. Ayrıca bölgenin ve montaj yapılacak binanın türbülans yoğunluğu da bilinmelidir. Türbülans yoğunluğu seviyesinin yüksek olması enerji üretim miktarını düşürür, rüzgar türbini üzerine etkiyen kuvvetlerin şiddetini ve malzeme yorulmasının hızını artırır. Bu durum rüzgar türbinlerinin ekonomik

ömürlerinin azalmasına neden olmaktadır. Türbülans yoğunluğunun 0,25 den büyük olduğu alanlara türbin kurmaktan kaçınılmalıdır (Kıyak ve diğ, 2009).

Binalarda kullanılan rüzgar türbini sistem türleri, binadan bağımsız ve binaya bağlı olarak kullanılmakta olup bu sistemlerin farklı çeşitleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

3.6.1 Bina bağımsız rüzgar türbinleri

Bina bağımsız rüzgar türbinleri, yapılı çevreden ve binadan mimari tasarım ve strüktür bağlamında bağımsız düşünülmüş olup, bina ve binaların, rüzgar hızını, yönünü ya da yoğunluğunu değiştirme anlamında herhangi bir potansiyelini kullanmayan türbinlerdir. Bu sınıfa örnek olarak, rüzgar çiftlikleri ve bahçelerde zemine entegre edilen rüzgar türbinleri verilebilir.



Şekil 3.24 : Bina bağımsız rüzgar türbini örneği.

3.6.2 Bina - monte rüzgar türbinleri

Bina-monte rüzgar türbinleri, bina ya da binaları bir çeşit kule olarak kullanmalarının yanı sıra, tam entegre olanların aksine, bina formunu, mevcut rüzgar akışını değiştirmek ya da arttırmak amacıyla kullanmamaktadır. Bu uygulamalar mevcut veya tasarım aşamasındaki binalara tatbik edilebilir. Tasarım aşamasındaki binalarda mimari form, türbinlere doğru olan rüzgar akışını arttırıcı olarak modifiye edilebilmektedir. Bu tarz uygulamalarda, bina formu tasarımına köklü müdahaleler yerine, küçük ölçekli iyileştirmeler yapılabilmektedir. Sonuç olarak, bina-monte rüzgar türbinlerinde mimari, rüzgar enerjisi etkin tasarım kaygısı taşımamaktadır (Günel ve diğ, 2007).



Şekil 3.25 : Harran Üniversitesi Osmanbey yerleşkesinde kullanılan bina monte rüzgar türbinine bir örnek (Aktacir ve diğ, 2008).

Ülkemizde rüzgar enerjisinin binalara entegrasyonu dendiğinde akla gelebilecek tüm örnekler, bina- monte rüzgar türbinleri örnekleridir. Mimari form kaygısı taşımadan, binayı bir kule olarak kullanarak sonradan eklenen rüzgar türbinleri ülkemizde yeni ortaya çıkmaktadır. Bu gelişme tasarım açısından şu an için yeterli olmasa da, ilerleyen zamanlarda bina entegre rüzgar türbinlerinin de olacağını, binaların tasarım aşamasında binaya monte edilen ve görsel olarak da kullanıcıya hitap eden gelişmiş tasarımların olacağının habercisidir.

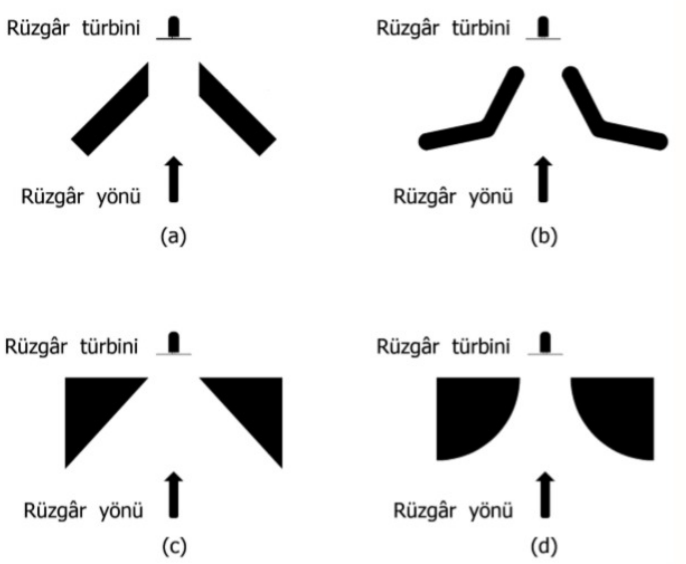
3.6.3 Bina - entegre rüzgar türbinleri

Bina-entegre rüzgar türbinlerinde esas olan, mimari tasarımın rüzgar enerjisi kullanımını temel almasıdır. Diğer bir deyişle, rüzgar enerjisi etkin tasarım (wind energy based design) fikri temel alınmıştır.

Bina mesnetsiz ve bina mesnetli olmak üzere iki temel sınıfta incelenen bina-entegre rüzgar türbinleri mimari tasarım sırasında sürece dahil edilmiş olup, binaların formu tarafından desteklenerek, rüzgarın yönünü, hızını ya da yoğunluğunu değiştirmek veya arttırmak suretiyle, elde edilecek olan enerjinin maksimum seviyelere yükseltilmesi hedeflerine yönelik olarak tasarlanan türbinlerdir. Özetle, rüzgar türbini mimari form üzerinde büyük bir etkiye sahip olup, binanın rüzgarı toplayarak türbine yönlendiren bir mekanizmaya dönüştürülmesi hedeflenmektedir (Günel ve diğ, 2007).

3.6.3.1 Bina - mesnetsiz rüzgar türbinleri,

Bina-mesnetsiz rüzgar türbinleri,henüz teoriden uygulamaya geçmemiş olup, binaya/binalara yakın bir yerde çalışabilen ve binanın yaratacağı, rüzgar akışını potansiyel olarak kullanabilen türbinler şeklinde tanımlanabilir. Bu çeşit türbinler bağımsız olarak kendi mesnediyle desteklenmekte olup, binanın genel tasarımını etkilemektedir (Günel ve diğ, 2007).



Şekil 3.26 : Bina mesnetsiz rüzgar türbinleri ve bina ilişkileri (Günel ve diğ, 2007).

3.6.3.2 Bina - mesnetli rüzgar türbinleri

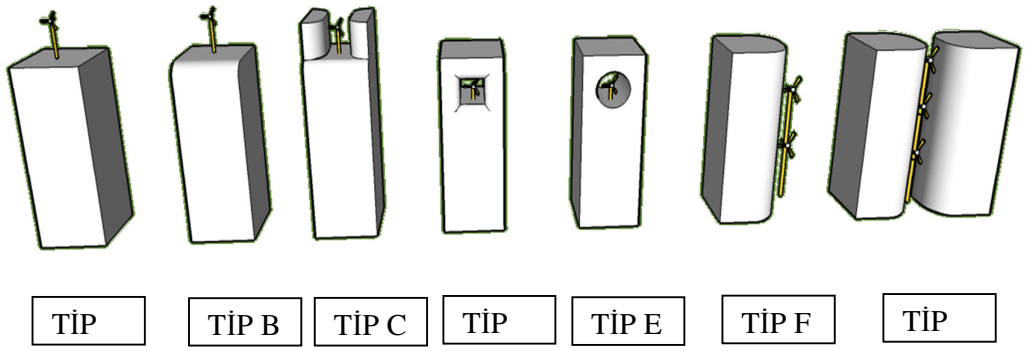
Bina-mesnetli rüzgar türbinleri, binanın strüktürünü mesnet edinerek, binanın kendisini (genellikle de üst kısmını) mevcut rüzgar potansiyelinden maksimum derecede istifade etmek amacıyla, kule olarak kullanmaktadır (Günel ve diğ, 2007).

Dünyanın ilk rüzgar gücüyle elektrik üreten rüzgar türbini entegre yüksek binası, 240 m yüksekliğinde ve 50 katlı olan Bahreyn Dünya Ticaret Merkezidir. 2006 yılında inşasına başlanmış ve 2008 yılında kullanıcılar için hazır hale getirilmiştir. Üçgensel formlu iki binanın arasına yerleştirilen, 3 adet 29 m kanat çaplı yatay eksenli entegre rüzgar türbinleri, yılda 1100-1300 MWsaat'lik üretimleriyle, binanın yıllık elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık olarak %11-%15'inin kadarını karşılamaktadır (Günel ve diğ, 2007).



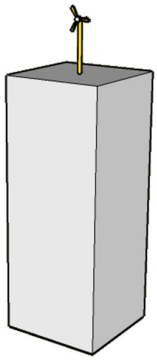
Şekil 3.27: Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (Günel ve diğ, 2007).

Bina entegre olan rüzgar türbinlerinden bina mesnetli olanlar çok çeşitli formlara sahip olabilirler. Uygulamaya konan bazı formları aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.28 : Bina mesnetli rüzgar türbinlerinin yapılarda kullanılan farklı tipleri (Stankovic, Campbell, 2009).

a) Tip A: Binanın üstünde;

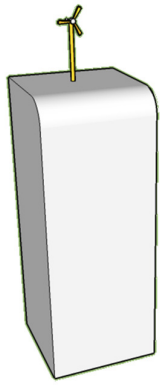


Şekil 3.29 : Rüzgar türbininin binanın üstünde bulunduğu hali, Tip- A.

Bu seçenek binanın yüksekliğini de kullanarak yüksek hızda ve kalitede rüzgara erişebildiği için avantajlıdır. Bu rüzgarlar yüksek bir enerjiye sahip olmalarının yanında daha az türbülansla karşı karşıyadırlar. Normal rüzgara göre hızında yaklaşık yüzde 10'luk enerji artışı farkı vardır.

- Binanın üzerindeki türbinin kule yüksekliği binanın keskin köşelerinin oluşturduğu türbülans alanından çıkabilmesi için fazla olmalıdır. Kule yüksekliğinin fazla olması türbinin bıçaklarının da herhangi bir dikey engelle karşılaşmadan direk hava ile karşılaşmasına neden olacağından rüzgarın kalitesini ve hızını arttırır.
- Yüksek kule yaparken kule inşası, bakım onarım ,ulaşım, binaya yapacağı titreşim ve kulenin kanatlarında oluşacak bir aksaklıkta düşme uzaklığı gibi konular detaylı düşünülmelidir.
- Yüksek kuleleler tasarımcıların görsel etki konusunda endişeli olmaları gereken bir konu olmasına rağmen, tasarımın sürdürülebilir olma niyeti onu, göze hitap eder kılar (Stankovic, Campbell, 2009).

b) Tip B: Köşesi yuvarlatılmış binanın üstünde;



Şekil 3.30 : Rüzgar türbininin köşesi yuvarlatılmış binanın üstünde bulunduğu hali, Tip - B.

Bu seçenek de binanın yüksekliğini kullanarak yüksek hızda ve kalitede rüzgara erişebildiği için avantajlıdır. Türbülanstan uzak olduklarından normal rüzgara göre hızında yaklaşık yüzde 15 bir enerji artışı farkı vardır.

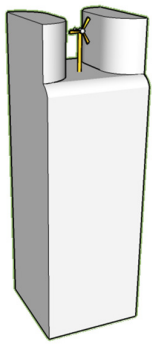
Keskin cephede rüzgar hızı türbülanstan etkileneceğinden yüksek kuleli türbin kullanmak zorunda olunmasına rağmen, yuvarlatılmış cephede rüzgar hızı

azalmayacağından verimli rüzgara erişebilmek için türbin kule yüksekliğinin çok fazla olmasına gerek yoktur.

Yuvarlaklığın var olması yerel hızı etkileyecektir.

- Küçük kuleler tasarımcılar için düşük görsel sorumluluk demektir.
- Daha alçak kule, kule inşası, bakım onarım, ulaşım ve binaya yapacağı titreşim açısından daha az riskli bir durumdur.
- Daha alçak kule binadaki titreşimi azaltmasına rağmen, bina kullanıcılarına daha yakın olacağından, türbinin kanat sesi kullanıcıları daha fazla rahatsız edecektir (Stankovic, Campbell, 2009).

c) Tip C: Rüzgarın tünel etkisi oluşturacağı kütleler bulunan binanın üstünde;



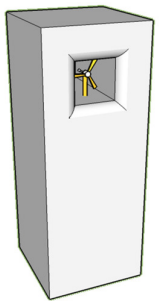
Şekil 3.31 : Rüzgar türbininin, rüzgara tünel etkisi oluşturacak kütleleri bulunan binanın üstünde bulunduğu hali, Tip -C.

Tip c'ye gelen rüzgar hızı 3 şekilde artmaktadır.

- Binanın yüksekliği fazla olduğundan hızı artacaktır.
- Binanın hakim rüzgara dönük cephesi yuvarlatılmış olduğundan rüzgar hızı artacaktır.
- Binanın çatısında rüzgara tünel etkisi oluşturacak karşılıklı keskin hatlara sahip olmayan iki kütle bulunduğundan rüzgar hızı fazla olacak, normal rüzgara göre hızında yaklaşık yüzde 20'lik bir enerji artış farkı oluşacaktır.

Böyle bir binanın çatısında dikey eksenli bir rüzgar türbini kullanmak daha verimli olabilmektedir. Bu türbinlerin kule yüksekliği de fazla olmayacağından, bakımı, onarımı, inşası diğerlerine göre daha kolay olacaktır (Stankovic, Campbell, 2009).

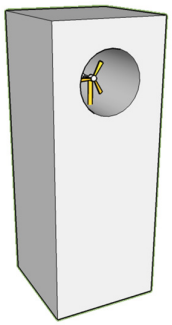
d) Tip D: Bina cephesinde tünel etkisi oluşturacak kare bir boşluğun içinde;



Şekil 3.32 : Rüzgar türbininin, bina cephesinde bulunan tünel etkisi oluşturacak kare bir boşluğun içinde bulunması hali Tip - D.

Yapı cephesinde toplanan rüzgar, binanın ortasından geçen boşluklara doğru cephe hareketleri ile aktarılmış ve burada bulunan rüzgar türbinlerine hızlanmış bir şekilde ulaştırılmıştır. Bina cephesine açılan boşluklar strüktürel açıdan yapının rüzgara karşı direncini artırrırken aynı zamanda bu boşluklara yerleştirilen rüzgar türbinleri ile de yapı tünel etkisi oluşturularak rüzgar enerjisinden faydalanmaktadır. Cephe hareketlerinin gelen rüzgarı bu boşluklara yönlendirecek şekilde tasarlanması ile de türbinlerden kazanılan enerji kat ve kat arttırılabilmiştir. Yüksek bina tasarımlarının önemli sorunlarından biri olan bina cephesinde oluşan rüzgar yükü burada başarılı şekilde avantaja dönüştürülmüştür. Rüzgar türbininin binanın cephesinde yer alması durumunda elde edilen enerji %25 ile %40 oranında artmaktadır (Stankovic, Campbell, 2009).

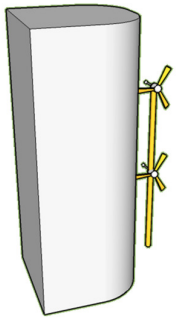
e) Tip E: Bina cephesinde tünel etkisi oluşturacak dairesel bir boşluğun içinde;



Şekil 3.33 : Rüzgar türbininin, bina cephesinde bulunan tünel etkisi oluşturacak kare bir boşluğun içinde bulunması hali Tip - E.

Tip D'de anlatılanların tümü bu rüzgar türbini entegre bina için de geçerlidir. Bu binada Tip D'ye ek olarak açılan boşluğun yuvarlatılmış olması, rüzgarın binaya çarpma hızının artmasına sebep olacaktır. Bu nedenle rüzgardan üretilen enerji ilk duruma göre %35 ile %50 arasında artış gösterecektir (Stankovic, Campbell, 2009).

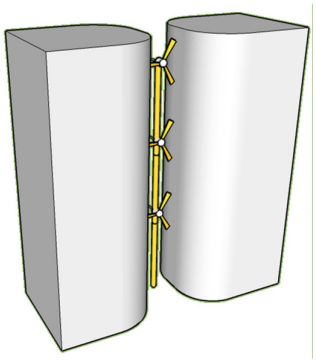
f) Tip F: Binanın yan cephesinde;



Şekil 3.34 : Rüzgar türbinlerinin binanın yan cephesinde bulunması hali- Tip F.

Tip F'de rüzgar türbini binanın yüksekliğini türbin kulesi olarak kullanmadığından, türbine ulaşan rüzgar hızı çok yüksek olmayacak ve türbinden üretilen enerji de diğer seçeneklere oranla biraz daha düşük olacaktır (Stankovic, Campbell, 2009).

g) Tip G: İki bina arasında;



Şekil 3.35 : Rüzgar türbinlerinin iki bina arasında bulunması hali- Tip G.

Bu seçenek tasarım aşamasında ikiz bina olarak tasarlanan gökdelenler için uygundur. İki binanın da köşelerinin yuvarlatılmış olması türbine ulaşan rüzgarın hızının azalmasını engellemektedir. İki binanın arasına ulaşan rüzgar, tünel etkisi

yaratarak türbinlerde üretilen enejinin artmasını sağlamaktadır (Stankovic, Campbell, 2009).

3.6.4 Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin avantajları

Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin avantajları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Binaların çatısına monte edilen türbinlerde binanın boyu türbin kulesi gibi düşünüldüğünde yükseklik arttığından rüzgar hızı da artacaktır.
- Binanın çatısında ya da yanında şebekeye bağlı olarak kullanılacak rüzgar enerjisi, taşıma maliyeti de olmadığından enerji düşük fiyatlara mal edilebilecektir.
- En çok harcanan enerjinin binalarda harcandığı ve ülkemizde hala binalarda rüzgar enerjisi kullanımının yaygın olmadığı düşünüldüğünde, bu sistem yaygınlaştığında ülkemiz yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlamış bir ülke konumuna gelecek ve sürdürülebilir enerji bilinci arttırılacaktır.
- Rüzgar türbinleri ister ısıtmak isterse de elektrik amaçlı güneş enerji sistemleriyle beraber çalıştığında üretilecek olan enerjiyi arttıracak ve binanın enerjide dışa bağımlı hale gelmesini engelleyecektir. Rüzgar ve güneş enerji sistemleri birbirini tamamlayıcı şekilde çalışabileceklerdir.
- Binanın üreteceği CO_2 emisyonunu azaltıcı etkilere sahip olan rüzgar türbinleri, belirli bina formlarıyla rüzgarın akış hızı arttırılarak daha fazla temiz enerji üretebilirler (Günel, ve diğ, 2007).

3.6.5 Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin dezavantajları

Binalarda kullanılan rüzgar türbinlerinin dezavantajları ise aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Binaların çatısında kullanılan türbinlerin ilettiği titreşimin binanın strüktürüne zarar verme olasılığı,
- Rüzgarın yönünün değiştiği durumlarda, bina monte türbinlerin bir kısmının yönü değişemeyeceğinden daha az rüzgar almaları,
- Şehirler düşük rüzgar alan korunaklı alanlara inşa edilmiş olduklarından, yapma çevredeki binalara entegre ya da monte edilen türbinler daha düşük rüzgar hızına sahip alanlarda bulunmaktadır. Rüzgar hızının yarıya düşmesi

rüzgar gücünün 8 kat azalması anlamına geldiğinden rüzgar hızı az alanlarda kurulan türbinlerin verimlerinin çok olmayacağının düşünülmesi,

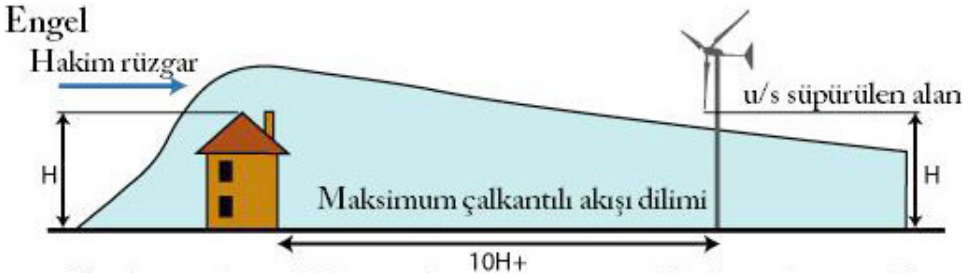
- Çevredeki binaların çatılarının yaratabileceği türbülanstan türbinin etkilenme olasılığı,
- En son olarak da binalarda kullanılan türbinler rüzgar santrallerindekinin aksine yapılı çevrede bulunduklarından, çevresinde daha fazla insan yaşadığından daha dayanıklı tasarımları olması zorunluluğu, dayanıklılık ve güvenlik ile ilgili tüm sorunlar önceden düşünülüp ona göre önlem alınması zorunluluğu bina entegre ve bina monte rüzgar türbinlerinin dezavantajlarıdır (Gipe, 2009).

Tüm bu dezavantajlara çözüm olabilecek sistemler düşünülmeye başlanmıştır. Binalara entegre rüzgar türbininin gelişen teknoloji ile daha kullanılabilir hale gelmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Türbin üreticileri, titreşimi ve sesi azaltacak türbinleri geliştirmeye çalışırlarken, binaya monte ya da entegre edilmeden önce de mimarlar, makine mühendisleri ve teknik elemanların disiplinler arası bir çalışma yapmaları gerekmektedir. Bakım ve maliyet gereksinimleri de azaltılıp bina monte rüzgar türbinlerinin kullanımı yaygınlaştırılmalı ve bu türbinler daha güvenilir hale getirilmelidir.

3.7 Binalarda Kullanılan Rüzgar Türbinlerinin Yerleştirilmesi

Rüzgar türbini açık ve önünde engel olmayan, arazinin rüzgarı en iyi alan bölümüne yerleştirilmelidir. Türbinin montajı yapılırken ekonomiklik açısından fazla uzağa gitmemek gerekir. Engele çarpan bir rüzgar akışı Şekil 3.36'da görüldüğü gibi cismin boyunun yaklaşık 10-15 katı bir mesafede etki etmekte, engelin arkasındaki akışın da bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle küçük rüzgar türbini yerleştirmesi yaparken bu durum dikkate alınmalıdır.

Bina arkasına yerleşimlerde, Şekil 3.36'da görüldüğü gibi rüzgar türbininin boyu dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır. Eğer rüzgar türbininin muhakkak bina arkasına yerleştirilmesi gerekiyor ise, en azından kule boyunun önündeki ev veya engelin iki katı olması gerektiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 3.36 : Engele çarpan rüzgarın türbülanstan (çalkantılı akış) kurtulması için gerekli uzaklık ve yükseklik mesafesi.

Rüzgar türbini binanın çatısına monte edilecek ise, montaj noktası çok iyi belirlenmeli, türbinin kanatlarının hiç bi yere çarpmadan dönebileceği bir alan oluşturulmalı, ve kule yüksekliğinin diğer binaların çatılarından daha yüksekte olmasına dikkat edilmelidir.

4. RÜZGAR ENERJİSİNİN BİNALARDA KULLANIMI İLE İLGİLİ ÖRNEKLER

Günümüzde enerji kullanımının önemli bir kısmını binalarda ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi kullanımı oluşturmaktadır. Enerjiye olan bağımlılığın arttığı günümüzde binalarda kullanılan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması önemli bir gereksinimdir. Bu gereksinimin sonucu olarak rüzgar enerjisinin binalarda kullanımı dünyada ve Türkiye'de farklı örneklerle karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde rüzgar enerjisinin dünyanın farklı ülkelerindeki kullanımları ile Türkiye'deki kullanımları incelenmiştir.

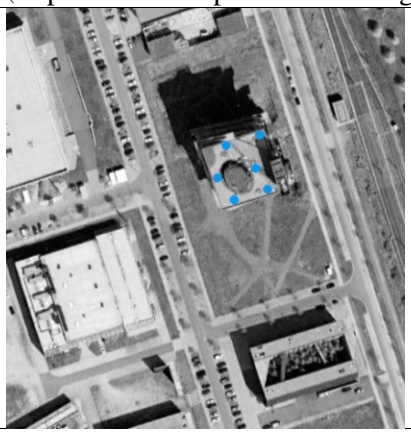
4.1 Dünyadan Örnekler

Gelişmiş ülkeler, rüzgar çiftliklerinin yanı sıra binalarda özellikle yüksek yapılarda rüzgar enerjisinden aktif ve pasif biçimde yararlanmaya başlamışlar, rüzgar enerjisinin kullanımı ile ilgili nitelikli örnekler ortaya koymuşlardır. Rüzgar enerjisinin gökdelenlerdeki kullanımı üzerine yapılan çalışmalar artmış, binanın yüksekliğini türbin kulesi olarak kullanan binaların yanı sıra, binaya entegre olan çok farklı rüzgar türbini tasarımları görülmüştür.

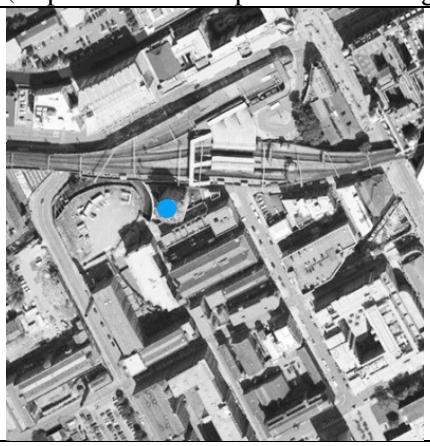
Tasarım aşamasındaki birçok binada da rüzgar türbini kullanılmakta, bu nitelikli örneklerin bir kaç yıl içinde büyük oranda artması beklenmektedir. Özellikle Avrupa ülkeleri, A.B.D. ve Dubai'de yapımı planlanan ve yapımına başlanılan yapılarda, daha önceleri sadece rüzgar çiftliklerinde tekil olarak gördüğümüz rüzgar enerjisinin (türbinlerin) bütünleşik olarak ele alındığı tasarımlar gün geçtikçe artmaktadır (Tosun, 2010).

Gelişmiş ülkelerde rüzgar enerjisini bina entegre, bina monte ve bina bağımsız olarak kullanan binalar bu bölümde anlatılmıştır.

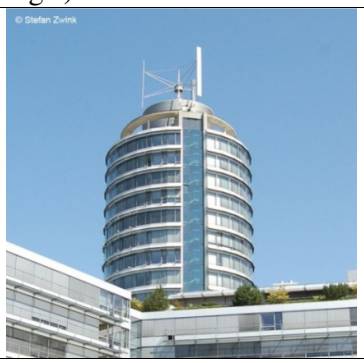
Çizelge 4.1: Hollanda Pavyonu'nda rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Hollanda Pavyonu, Expo 2000**
Yeri:	Hannover - Almanya
Kullanım şekli:	Fuar alanı
Ölçek:	5 katlı
Mimarı:	MVRDV
Rüzgar Türbini:	5 tane 2,5 kW'lık türbin.
Açıklama	(http:// ww.wind.psu.edu/buildings/).
	 

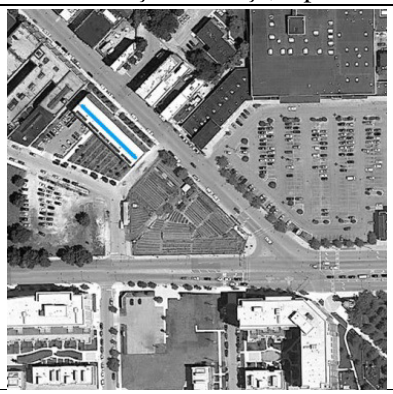
Çizelge 4.2 : The Green Building'de rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**The Green Building**
Yeri:	Manchester - İngiltere
Kullanım şekli:	Konut Bloğu
Ölçek:	10 katlı
Mimarı:	Terry Farrel & Partners
Rüzgar Türbini:	1 tane çatıya entegre yatay eksenli türbin
Açıklama	(http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

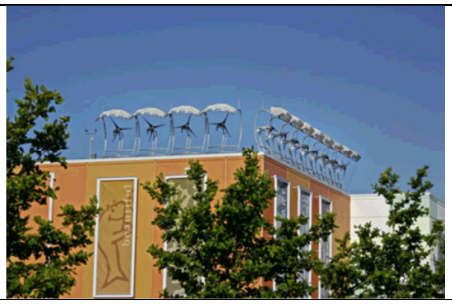
Çizelge 4.3 : Neues Technisches Rathaus binasında rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Neues Technisches Rathaus**
Yeri:	Münih - Almanya
Kullanım şekli:	Ofis yönetim binası
Ölçek:	Yüksek katlı
Mimarı:	Ganzer + Unterholzner
Rüzgar Türbini:	1 tane çatıya entegre dikey eksenli türbin
Açıklama	(http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

Çizelge 4.4 : Near North Apartmanlarında rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Near North Apartmanları**
Yeri:	Chiago - ABD
Kullanım şekli:	Konut Bloğu
Ölçek:	5 katlı
Mimarı:	Murphy Jahn
Rüzgar Türbini:	8 x 1.5kW Aerotecture türbinler
Açıklama	2007'de inşa edilmiş (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

Çizelge 4.5 : Adventure Akvaryum'da rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Adventure Akvaryum**
Yeri:	New Jersey - USA
Kullanım şekli:	Akvaryum
Ölçek:	5 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	12 x Aerovironment AVX400 turbines, toplam 4.8kW kapasite
Açıklama	2007'de inşa edilmiş 12 tane 400 wattlık avirovirenment türbin ile toplam 4.8 kw'lık güç sağlayan sistem kamu şebekesine bağlı bir şekilde çalışmaktadır. (http://www.wind.psu.edu/buildings/).
	

Çizelge 4.6: Arizona State Üniversitesi'nde Rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Arizona State University, Global Institute of Sustainability**
Yeri:	Arizona - ABD
Kullanım şekli:	Akademik
Ölçek:	4 katlı
Mimarı:	Lord, Aeck & Sargent, Inc.,Atlanta, GA.
Rüzgar Türbini:	6 tane Aerowinment türbin
Açıklama	2008'de inşa edilmiş (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

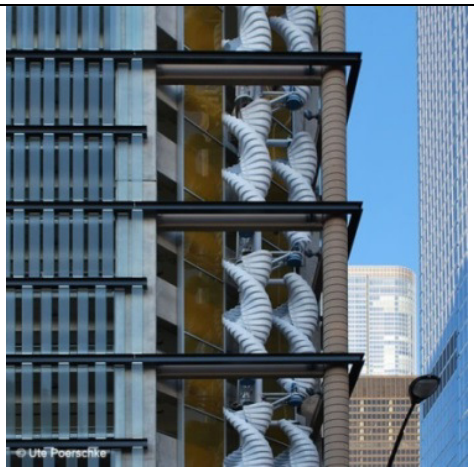
Çizelge 4.7: Croydon City House'da rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Croydon City House**
Yeri:	Croydon - İngiltere
Kullanım şekli:	Konut Bloğu
Ölçek:	14 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	8 tane Quiet Revolution dikey eksenli türbin
Açıklama	2008'de inşa edilmiş (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	

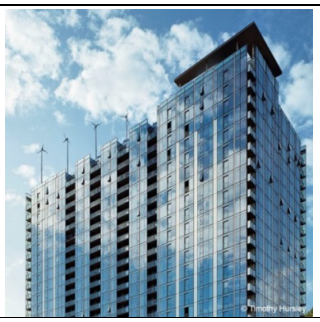
Çizelge 4.8 : Kinetica binasında rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Kinetica**
Yeri:	Londra - İngiltere
Kullanım şekli:	Ofis- Konut karma işlevli
Ölçek:	14 katlı
Mimarı:	Waugh Thistleton
Rüzgar Türbini:	4 tane Quiet Revolution dikey eksenli türbin
Açıklama	2009'da inşa edilmiş (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	

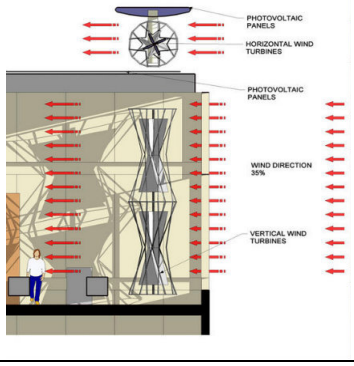
Çizelge 4.9: Greenway Self Park'ta rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Greenway Self Park**
Yeri:	Chicago - ABD
Kullanım şekli:	Otopark
Ölçek:	11 katlı
Mimarı:	HOK
Rüzgar Türbini:	12 Helix S594 rüzgar türbini
Açıklama	2009'da inşa edilmiş. Dikey eksenli bu türbinler Chicago'nun yaz rüzgarlarından maksimum derecede yararlanmak için otopark binasının güney batı köşesine yerleştirilmiştir. Türbinlerden elde edilen enerji şehrin dokusunu oluşturan binanın dış cephe aydınlatmasında kullanılmaktadır (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

Çizelge 4.10: Twelve West binasında rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Twelve West**
Yeri:	Oregon - ABD
Kullanım şekli:	Karma işlevli
Ölçek:	Çok katlı
Mimarı:	ZGF Architects LLP
Rüzgar Türbini:	4 tane Skystream 3.7 rüzgar türbini
Açıklama	2009'da inşa edilmiş binanın çatısında bulunan 4 rüzgar türbini yılda 10.000- 12.000 kWh arası elektrik üretmektedir (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

Çizelge 4.11: Public Utility Commision Headquarters binasında rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Public Utility Commision Headquarters**
Yeri:	San Francisco - ABD
Kullanım şekli:	Yönetim Binası
Ölçek:	13 katlı
Mimarı:	KMD, Stevens, JV
Rüzgar Türbini:	Dikey ve yatay eksenli rüzgar türbinleri
Açıklama	2012'de insa edilmiş(http:// www.wind.psu.edu/buildings/)..
	 

Çizelge 4.12: Strata gökdeleninde rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Strata**
Yeri:	Londra - İngiltere
Kullanım şekli:	Konut Bloğu
Ölçek:	43 katlı, 148 metre
Mimarı:	BFLS
Rüzgar Türbini:	Kombine edilmiş türbinlerin toplam kapasitesi 57 kW
Açıklama	Rüzgar enerjisi performansını artırmak için, bu örnek yapıda rüzgar türbinleri yapı cephesinin en üst bölümüne eklenen açıklıklara yerleştirilmiştir (http://www.wind.psu.edu/buildings).
	 

Çizelge 4.13: Halifax Marina Market'te rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Halifax Marina Market**
Yeri:	Nova Scotia - Kanada
Kullanım şekli:	Ticari
Ölçek:	43 katlı, 148 metre
Mimarı:	Lydon Lynch Architects
Rüzgar Türbini:	4 tane zemine monte 1,8 kW'lık SkyStream 3.7 rüzgar türbini
Açıklama	Bu türbinler ve başka enerji etkin yaklaşımlar ile bina LEED Platinium ödülüne layık görülmüştür (http:// www.wind.psu.edu/buildings/).
	

Çizelge 4.14: Pearl River Tower binasında bina-entegre rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Pearl River Tower**
Yeri:	Guangzhou, China
Kullanım şekli:	Yönetim Binası
Ölçek:	43 metre
Mimarı:	Skidmore Owings & Merrill
Rüzgar Türbini:	4 boşluğa 8 adet türbin bina entegre olarak yerleştirilmiştir.
Açıklama	2012'de insa edilmiş. Binanın sıfır enerjili bina olabilmesi için 5 ana strateji uygulanmış, bu stratejiler ile binanın tüm enerji sarfiyatının %65'i sağlanmıştır. Geri kalan enerjiyi sağlamak için bina rüzgar enerjisi, fotovoltaik paneller ve mikrotürbinlerden yararlanır. Bu kapsamda binanın cephesinde 4 ayrı boşluk tasarlanmıştır. Bu boşluklar binayı düşeyde 3 parçaya ayrılmıştır. Bu ayrı bölümlerin arasına 8 adet (her boşluğa 2 şer adet) rüzgar türbini yerleştirilmiş ve binanın formu bu rüzgar türbinlerine gelen rüzgarı toplayacak biçimde şekillendirilmiştir. Binanın formunun bu şekilde tasarlanması ile rüzgarın hızının 2.5 kat daha arttırılması sağlanmıştır ki, bu da rüzgar türbinlerinden 15 kat daha fazla enerji kazancı sağlamak anlamına gelmektedir (Tosun, 2010).
	

Çizelge 4.15: Adobe Merkez binasında rüzgar enerjisi kullanımı.

Bina Adı :	**Adobe Merkez Binası**
Yeri:	Kaliforniya, ABD
Kullanım şekli:	Yönetim Binası
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1,2 kW'lık 20 adet rüzgar türbini binanın çatısına yerleştirilmiştir.
Açıklama	2010 ocak ayında San Jose, Kaliforniya'daki Abobe Systems merkez binasının çatısına yerleştirilen 20 adet rüzgar türbini ofisin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Her biri 10 metre uzunluğunda olan türbinler en fazla 1,2 kW elektrik üretme kapasitesine sahiptirler. Her türbinden yıllık 2,500 kWh, toplam sistemden ise 50,000 kWh elektrik üretmesi beklenmektedir. Dikey eksenli 20 adet rüzgar türbini ile LEED sertifikasına sahip olan bu binanın ürettiği enerji ofisin garajında kullanılmaktadır (http://www.wind.psu.edu/buildings/).
	 

Çizelge 4.16: Oklohoma Medical Research Foundation binasında bina entegre rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Oklohoma Medical Research Foundation**
Yeri:	Oklohama, ABD
Kullanım şekli:	Yönetim Binası
Ölçek:	40 metre
Mimarı:	Skidmore Owings & Merrill
Rüzgar Türbini:	4 boşluğa 8 adet türbin bina entegre olarak yerleştirilmiştir.
Açıklama	2012'de inşa edilen Oklahoma Medical Research Foundation Binasına yerleştirilen rüzgar türbinleri dünyanın en büyük çatıda bulunan rüzgar türbinidir. Tasarım aşamasında monte edilmiş çok yönlü rüzgar türbinleri binanın çatısında her yönden gelebilecek rüzgarı alabilecek şekilde dikey eksenli olarak tasarlanmışlardır. Binanın çatısında bulunan 18 rüzgar türbininin her biri 6 metre uzunluğunda 4,5 kW'lık türbinlerdir. Toplam kapasitesi 81 kW olan türbinler yıllık 85,500kWh üretmektedir. Bu türbinler, geleneksel rüzgar türbinlerinin aksine Oklohama'nın yıllık rüzgar hızı ortalamasının çok altında olan 4 m/s'de çalışmaya başlamaktadırlar. Yüksek bir binaya entegre edildiklerinden, ürettikleri enerji ile araştırma binasının sürdürülebilirlik kapsamında karbon salımını sıfıra indirmeyi amaçlamaktadır (http://inhabitat.com).
	 

4.2 Türkiye'den Örnekler

Türkiye'de rüzgar enerjisi üzerine çalışmalar son yıllarda büyük ölçekte hız kazanmasına rağmen bina ölçeğinde gerektiği konuma gelememiştir. Yurtdışındaki nitelikli uygulamaların aksine, ülkemizde binalarda kullanılan rüzgar enerjisi sistemleri oldukça basit düzeydedir. İlk olarak 3.12.2010 tarihinde yayımlanan, 21.07.2011 ve 10.03.2012 tarihli yenilikle değişiklik yapılmasına ilişkin çıkan yönetmelik ile Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik tamamlanarak günümüze gelmiştir. Bu yönetmelik ile nitelikli örneklerinin artması beklenmektedir. Türkiye'de rüzgar enerjisi kullanımına ilişkin seçilen bina örnekleri bu bölümde açıklanmıştır.

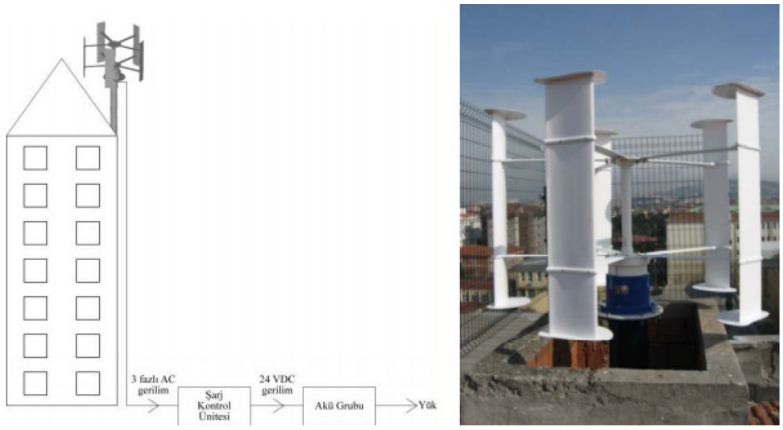
Çizelge 4.17 : Şişli Belediyesi Bilim Merkezi'nde yenilenebilir enerjinin tanıtımı için tasarlanan rüzgar türbini

Bina Adı :	**Şişli Belediyesi Bilim Merkezi**
Yeri:	Şişli/İstanbul
Kullanım şekli:	Bilim Merkezi
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1 türbin ve 4 fotovoltaik panel ile hibrid bir şekilde
Açıklama	Şişli Belediyesi Bilim Merkezi'inde Genba Enerji ile Enerji Ağacı projesi gerçekleştirilip yeni nesillere yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi anlatılmaya çalışılmıştır. Enerji ağacında küçük bir rüzgar türbini ve 4 adet fotovoltaik panel bulunmaktadır(www.genba.com.tr).
	

Çizelge 4.18 : Eser Yeşil Bina ve Eser Yeşil Park'ta rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Eser Yeşil Bina- Eser Yeşil Park**
Yeri:	Ankara
Kullanım şekli:	Ofis
Ölçek:	5 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1 kW 'lık rüzgar türbini
Açıklama	Türkiye'nin ilk LEED Platin sertifikasını alan bina olan Eser Yeşil Binası, en düşük enerji harcayacak şekilde, benzer bir binaya göre yarı yarıya az elektrik tüketecek şekilde tasarlanmıştır. Elektrik açısından, öncelikle kendi içinde üretim yapan kojenarasyon ünitesi çalışmakta, binada kurulu güneş pilleri ve rüzgar türbini ile desteklenmektedir. Bunların yeterli olmadığı durumlarda, binanın ek ihtiyacı da yapılan elektrik alımı anlaşması gereği doğrudan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinden sağlanmaktadır. Bina çatısında, elektrik üretimi amacıyla 1 kW kapasiteli rüzgar türbini bulunmaktadır (www.eseryesilbina.com).
	 

Çizelge 4.19 : Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü'nde rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Marmara Üniversitesi Göztepe Kampüsü Rüzgar Türbini**
Yeri:	İstanbul
Kullanım şekli:	Akademik
Ölçek:	7 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	500 W gücünde paralel kanatlı dikey rüzgar türbini
Açıklama	Yerleşim alanlarında yenilenebilir enerjinin kullanımı ve rüzgar türbinlerinin kullanımının yaygınlaştırılması amacıyla, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenen bina üzerinde 500 W gücünde paralel kanatlı dikey rüzgar türbini projesi Göztepe Kampüsü'nde gerçekleştirilmektedir. Türbinin üretime başlama hızı 3 m/s olup, nominal üretim hızı 13 m/sn dir. Güneş panelleriyle birlikte hibrid çalışan rüzgar türbininin ürettiği üç fazlı enerji şarj kontrol ünitesine girmektedir. Şarj kontrol ünitesinden 24 V DC olarak çıkan enerji aküye bağlanmaktadır. Bina montajlı rüzgar türbinlerinin nadir örneklerinden biri olan binada kullanılan rüzgar türbini prensip şeması ve türbinin bina üzerindeki görüntüsü şekilde görülmektedir (Kıyak ve diğ, 2009).
	

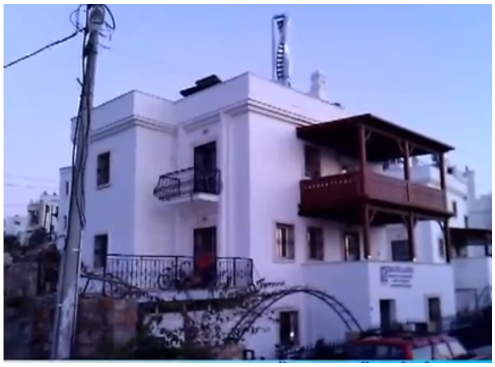
Çizelge 4.20 : Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde tasarlanan rüzgar türbini.

Bina Adı :	**Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Yerleşkesi Rüzgar Türbini**
Yeri:	İzmir
Kullanım şekli:	Akademik
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	İki tane 5 kW'lık bir tane 3 kW'lık bina bağımsız türbin
Açıklama	Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü öğrencilerden oluşan araştırma grubu ile, rüzgar enerjisi çevrim sistemlerinde tümüyle yerli teknoloji geliştirme ve üniversite–sanayi işbirliği çerçevesinde, bu teknolojileri sanayiye aktarma çalışmalarını gerçekleştirmektedir. Rüzgar Enerjisi Çevrim Sistemleri konusunda, 2000 yılından beri yerli firmalara ciddi teknoloji transferleri yaparak, özellikle Küçük Güçlü Rüzgar Türbinlerinin, tümüyle yerli üretimi sağlanmıştır.Teknoloji transferi yapılarak % 100 yerli olarak üretilen rüzgar türbinlerinden, iki adedi (5 kW) enstitü bahçesinde ve bir adet 3kW da Celal Bayar Üniversitesi Kırkağaç MYO bahçesinde çalışmakta ve ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmını karşılamaktadır. Ayrıca, iki adedi (3 - 5 kW) de E.Ü. Çeşme Turizm ve Otelcilik Yüksekokulu' nun bahçesinde çalışarak, çevre aydınlatmasını sağlamaktadır. TÜBİTAK Projeleri kapsamında tasarlanan (3-5-10-20 kW) yerli ve özgün modellerin üretimi ve farklı alanlarda uygulamaları yapılmaktadır (Ata, Çetin, 2008).
	

Çizelge 4.21 : Varyap Meridian'de kullanılan rüzgar türbinleri.

Bina Adı :	**Varyap Meridian**
Yeri:	İstanbul
Kullanım şekli:	Konut- Ofis karma işlev
Ölçek:	Çok katlı
Mimarı:	RMJM Hillier Architecture Worldwide, New York ofisi- Dome Mimarlık
Rüzgar Türbini:	
Açıklama	2009 yılında yapımına başlanan Varyap Meridian'in satış bürosunda rüzgar türbini ve güneş paneli kullanarak yenilenebilir enerji üretilmektedir. Bu rüzgar ve güneş enerjisi sistemleri ile ofisin 1000 kWh olan toplam tüketiminin 51,12 kWh'lık kısmı yenilenebilir enerjiyle sağlanmaktadır. Tüm blokların çatı katında blok başına 15 kW elektrik enerjisi sağlayacak "Güneş Panelleri" ve her blok için kurulan, türbin başına 15 kW elektrik üreten yedi adet "rüzgâr türbin"inin sağladığı enerji ile asansörler, merkezi sistem havalandırma, çevre-bina aydınlatması vb. ortak kullanılan enerji ihtiyacının bir kısmı karşılanarak yüzde 40 enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmış bina bu özellikleri ile LEED kriterlerine uygun inşa edilmiştir.
	

Çizelge 4.22 : Bodrum'da bir konutta rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Bodrum'da bir konut**
Yeri:	Bodrum - Muğla
Kullanım şekli:	Konut
Ölçek:	2 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Elektrowind 2 kW'lık dikey eksenli rüzgar türbini
Açıklama	Elektro Wind, dikey çalışan helikal yapıya sahip bir savonius tip rüzgar türbinidir. Basamaklı türbin yapısı ile dönme sırasında rüzgarı panelleri arasında tutarak, etkili bir şekilde dönme gücü sağlar. Bodrumda bir konutta kullanılan 2 kW'lık bu türbin konutun elektrik giderlerinin bir kısmını karşılamaktadır (www.ardenerji.com).
	 

Çizelge 4.23 : Didim'de kullanıcı tarafından tasarlanmış bir rüzgar türbini.

Bina Adı :	**Didim/Serhat Elektronik çatısına monte rüzgar türbini**
Yeri:	Didim/Aydın
Kullanım şekli:	Ofis
Ölçek:	4 katlı
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Bina monte rüzgar türbini
Açıklama	Didim/Serhat Elektronik'in bulunduğu iş merkezinin çatısına yerleştirilmiş olan kendi tasarladığı rüzgar türbini 2011 yılında faaliyete girmiş akülü bir rüzgar türbinidir. İşletmeci rüzgar türbininden elde ettiği enerjiyi aküde depolayıp işyerinin aydınlatmasında kullanmaktadır.
	 

Çizelge 4.24 : Kağıthane'de kullanıcı tarafından tasarlanmış bir rüzgar türbini.

Bina Adı :	**Kağıthane sanayi mahallesi erdüz pervane'de bir uygulama**
Yeri:	İstanbul - Kağıthane
Kullanım şekli:	Sanayi'de bir işyeri
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Bina monte dikey eksenli rüzgar türbini
Açıklama	Sanayi mahallesinde bir firma kendi imalathanesinin üzerine bir rüzgar türbini tasarlamış bir süre kullanımını gözlemlemiştir. Daha sonra türbin rüzgar hızına dayanamayıp, kanatlarından biri kopmuş ve şu an çalışamaz durumda bulunmaktadır.
	

Çizelge 4.25 : Bozcaada Akvaryum Otel'de rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Bozcaada Akvaryum Otel rüzgar türbini**
Yeri:	Bozcaada - Çanakkale
Kullanım şekli:	Otel
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Bina bağımsız pv ile hibrid rüzgar türbini
Açıklama	Bozcaada'da bir süre güneş enerjisi ile hibrid çalışan sistem ile Otelin elektrik enerjisinin bir kısmı karşılanmıştır. Bozcaada'nın rüzgar hızı çok yüksek olduğundan bu sistem ile rüzgar enerjisinden önemli ölçüde verim elde edilmiştir.

Çizelge 4.26 : Okan Üniversitesinde rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Okan Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümü rüzgar türbini çalışması**
Yeri:	İstanbul
Kullanım şekli:	Akademik
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1,4 kW'lık rüzgar türbini
Açıklama	Okan Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü araştırma projesi için kurulan 1.4 kW'lık rüzgar türbini 320 W'lık solar panelden kurulu hibrid sistem günde ortalama 4-7 kWh elektrik gücü üretebilmektedir (http://www.pallasenerji. com).
	

Çizelge 4.27 : Adnan Menders Havalimanın'da deneme amaçlı rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**İzmir Adnan Menderes Havalimanı deneme uygulaması**
Yeri:	İzmir
Kullanım şekli:	Havalimanında kullanım
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1,5 kW'lık deneme türbini
Açıklama	Güvenli enerji adlı firmanın tasarlamış olduğu wind tronics adlı türbin Adnan Menderes havalimanına monte edilmiş olup deneme süresince uygulanmıştır. Verimi konusunda bilgi bulunmayan rüzgar türbini 1,5 kW boyutundadır.

Çizelge 4.28 : Yıldız Teknik Üniversitesinde rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü rüzgar türbini çalışması**
Yeri:	İstanbul
Kullanım şekli:	Akademik
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	700 w rüzgar türbini
Açıklama	Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü Elektrik Mühendisliği Bölümü araştırma projesi için kurulumu Pallas Enerji tarafından yapılan hibrid yapıdaki sistem fakültenin çatısına kurulu durumdadır. Max. 700w rüzgar türbini ile birlikte kullanılan 640 w'lık solar sistem şarj kontrol cihazı ile üretim dataları bilgisayar bağlantısı ile kayıt edilebilmektedir. Sistem günde ortalama 3,5 kWh elektrik gücü üretebilmektedir (http://www.pallasenerji.com).
	 

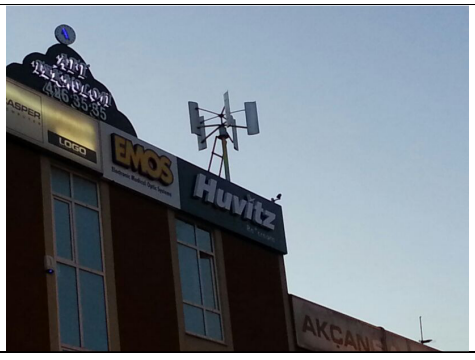
Çizelge 4.29 : İzmir Kemalpaşa'da kullanıcı tarafından konuta monte edilen rüzgar türbini.

Bina Adı :	**İzmir Kemalpaşa'da bir konut**
Yeri:	Kemalpaşa- İzmir
Kullanım şekli:	Konut
Ölçek:	Prefabrik konut
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Bina monte rüzgar türbini ile bina bağımsız rüzgar türbini
Açıklama	İzmir Kemalpaşa'da prefabrik olarak yaptıkları evlerinin balkonlarına ve çatısına farklı tasarımlarda rüzgar enerjisi kurup evin tüm ihtiyaçlarını rüzgardan sağlayan kullanıcılar, rüzgar enerjisi tasarımının ve kullanımının çok da zor olmadığını anlatmak için iyi bir örnektir. Kemalpaşa'da rüzgar hızının fazla olması kullanıcının iki türbinden daha fazla elektrik enerjisi üretmesine böylece şebekeye bağımsız bir şekilde bağ evlerinde hayatlarını sürdürmelerine imkan kılmaktadır.
	 

Çizelge 4.30 : Beylikdüzü'nde bir fabrikada rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Beylikdüzü'nde Alpin Çorap Fabrikasında kullanılan şebeke bağlantılı sistem**
Yeri:	Beylikdüzü - İstanbul
Kullanım şekli:	Fabrika
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	3,2 kW'lık rüzgar türbini ile güneş paneli hibrid sistem
Açıklama	3,2 kW rüzgar türbini ile şebeke bağlantılı sistem Beylikdüzü'nde bulunan Alpin Çorap Fabrikasının çatısına kurulmuş ve şu an günde ortalama 10 kW elektrik gücü üretmektedir (http://www.pallasenerji.com).

Çizelge 4.31 : Avcılar'da ofis binasında rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Avcılar'da bir bina**
Yeri:	Avcılar - İstanbul
Kullanım şekli:	İş merkezi
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	Dikey eksenli bir rüzgar türbini.
Açıklama	Avcılar'da bir işyeri binasının çatısına monte edilen rüzgar türbini dikey eksenli bir rüzgar türbinidir. Bu türbin ile üretilen enerji türbini kuran firmanın aydınlatması için kullanılmaktadır.
	

Çizelge 4.32: Tekirdağ'da büyükbaş hayvan çiftliğinde hibrid sistem kullanımı

Bina Adı :	**Tekirdağ'da büyükbaş hayvan çiftliği**
Yeri:	Saray- Tekirdağ
Kullanım şekli:	Çiftlik
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1,4 kW'lık rüzgar türbini ile güneş paneli hibrid sistem
Açıklama	Tekirdağ'ın Saray ilçesindeki büyükbaş hayvan çiftliğine kurulan hibrid sistem, çiftlikteki iki adet daire, ofis ve hayvan damının ihtiyacını karşılamaktadır. Sistem günde ortalama 15-25 Kwh elektrik gücü üretebilmektedir (http://www.pallasenerji.com).
	

Çizelge 4.33: Kil ocağı şantiyesinde hibrid sistem kullanımı

Bina Adı :	**Er Madencilik Kil Ocağı Şantiyesi**
Yeri:	Şile- İstanbul
Kullanım şekli:	Maden işletmesi
Ölçek:	-
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	1,4 kW'lık rüzgar türbini ile güneş paneli hibrid sistem
Açıklama	Şile'de kill ocağı şantiyesinin günlük ihtiyacını karşılamaya yönelik hibrid sistem; aydınlatma, TV, buzdolabı ve kantarın elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Günde 5-8 kWh elektrik üreten sistem maksimum 2 yıl gibi bir sürede ilk yatırım maliyetini çıkarmaktadır (http://www.pallasenerji.com).

Çizelge 4.34 : Kırşehir'de bir çiftlikte rüzgar türbini kullanımı.

Bina Adı :	**Kırşehirde Büyükbaş Hayvan Çiftliği**
Yeri:	Kırşehir
Kullanım şekli:	Çiftlik Evi
Ölçek:	Prefabrik konut
Mimarı:	-
Rüzgar Türbini:	2 adet hummer 2 kW'lık rüzgar türbini ile güneş paneli hibrid sistem
Açıklama	Sistem hayvan çiftliğinin aydınlatma, buzdolabı, TV, çamaşır makinesi, süt sağım cihazı ve su pompası ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik kurulmuştur. Kırşehir'de yüksek bir konumda bulunan çiftlik rüzgar açısından il ortalamasının aksine çok daha yüksek bir rüzgar ortalamasına sahiptir. 2 adet hummer 2 kW'lık rüzgar türbini ve 640 W güneş paneline sahip olan sistem günde ortalama 8-12 kWh elektrik gücü üretilebilmektedir (http://www.pallasenerji.com).
	

5. FARKLI RÜZGAR BÖLGELERİ İÇİN BİNALARDA RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIMINA YÖNELİK UYGULAMA: TOKİ TARIMKÖY PROJESİ ÖRNEĞİ

Bu çalışmada, farklı rüzgar bölgeleri için TOKİ konutlarında kullanıcı konforundan ödün vermeden, enerji giderlerinin karşılanmasında rüzgar enerjisinin en yaygın kullanılma yöntemi olan rüzgar türbini ile ilgili analizler yapılarak rüzgar enerjisinden yararlanma ele alınmıştır.

5.1 Uygulama Çalışmasının Amacı

Çalışmanın amacı rüzgar enerjisi açısından belirli bir potansiyele sahip olan ülkemizde binalarda rüzgar enerjisinin kullanımını irdelemektir. Bu açıdan çalışmada TOKİ Tarımköy Konut uygulamalarından bir konut örneği ele alınarak farklı rüzgar bölgeleri için enerji yüklerinin hesaplanması ve enerji yüklerinin rüzgar enerjisi ile karşılanabilme oranlarını ortaya koyarak, konutlarda rüzgar enerjisinin kullanılması çalışmalarını geliştirecek bir katkı ortaya koymaktır.

Çalışmada ele alınan konut örneğinin Türkiye'nin farklı iklim bölgelerini kapsayan 4 farklı rüzgar bölgesinde yer aldığı kabul edilmiş, farklı rüzgar hızlarına sahip her bir bölge için seçilen rüzgar türbinlerinin ürettikleri elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Ele alınan konut örneği için ısıtma, soğutma, aydınlatma enerjisi yükleri de hesaplanarak türbinden üretilen elektrik enerjisinin konut enerjisi gereksiniminin hangi oranda karşılayabildiği tartışılmıştır.

5.2 Uygulama Çalışmasının Adımları

Çalışmada, günümüzde TOKI Konutlarının etkin bir uygulama alanı olması nedeni ile TOKİ (Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı) Muğla Yeşilbağcılar 127 adet Tarımköy konutu projesi ele alınmıştır.

Mevcut projenin Muğla'nın (3. Rüzgar bölgesi) yanı sıra Bandırma (1. Rüzgar bölgesi), Silifke (2. Rüzgar bölgesi) ve Bolu'da (4. Rüzgar bölgesi) yer aldığı

varsayılmıştır. Bu yöreler sırasıyla ılımlı kuru, sıcak nemli, ılımlı nemli ve soğuk iklim bölgelerinde yer almaktadır. Tarımköy konut projesinin yerleşme planında rüzgarı en iyi alabilecek, en yüksekte bulunan, 35 adet konutu kapsayan alan seçilmiştir. Seçilen bu konutların kıyaslama sağlanabilmesi açısından her bölgenin hakim rüzgar yönüne uygun şekilde, birbirinin rüzgarını kesmeyecek şekilde yerleştirildiği kabul edilmiştir. Konutlar, referans projenin tüm özelliklerine göre enerji simülasyon programı Design Builder programında modellenmiştir. Bu modelleme ile seçilen 4 farklı bölgede bina enerji simülasyonları yapılmış ve aylık-yıllık tükettikleri enerji miktarları bulunmuştur.

Rüzgar türbinlerinin ürettikleri enerjinin belirlenmesi için ele alınan her bir bölge için rüzgar hızları REPA adlı Türkiye Rüzgar Atlası'ndan alınmıştır. Seçilen rüzgar türbinlerinin her bir bölge için üreteceği elektrik enerjisinin belirlenmesi "small wind economic model" adlı program aracılığı ile yapılmıştır. Bu program rüzgar türbinine ait özellikleri ve rüzgar türbininin yerleştirileceği arazinin özellikleri girildikten sonra , türbinin seçilen her bir bölge için yıllık üreteceği elektrik enerjisi miktarlarını vermektedir. Bu programa rüzgar türbininin maliyeti ve ülkedeki elektrik enerjisinin maliyeti de girildiğinde, türbinin kendini amorti etme süresi grafiklerle gösterilmektedir (http://www.windpoweringamerica.gov/).

Rüzgar türbininin verimini etkileyen türbine ait ve binaya ait diğer parametreler de bu program dosyasına girilerek sonuçlara ulaşılmış, rüzgarın verimini etkileyen parametreler sınıflandırılmıştır. Bu sonuçlarla birlikte rüzgar türbininin Türkiye açısından verimli olup olmadığı, hangi bölgelerde daha verimli olduğu irdelenmiştir. Rüzgar türbini kullanımının binada fosil yakıt kullanıldığında ortaya çıkan karbon salımını ne kadar azalttığı da tartışılmıştır.

5.2.1 Seçilen referans projenin tanıtılması ve projeye ilişkin veriler

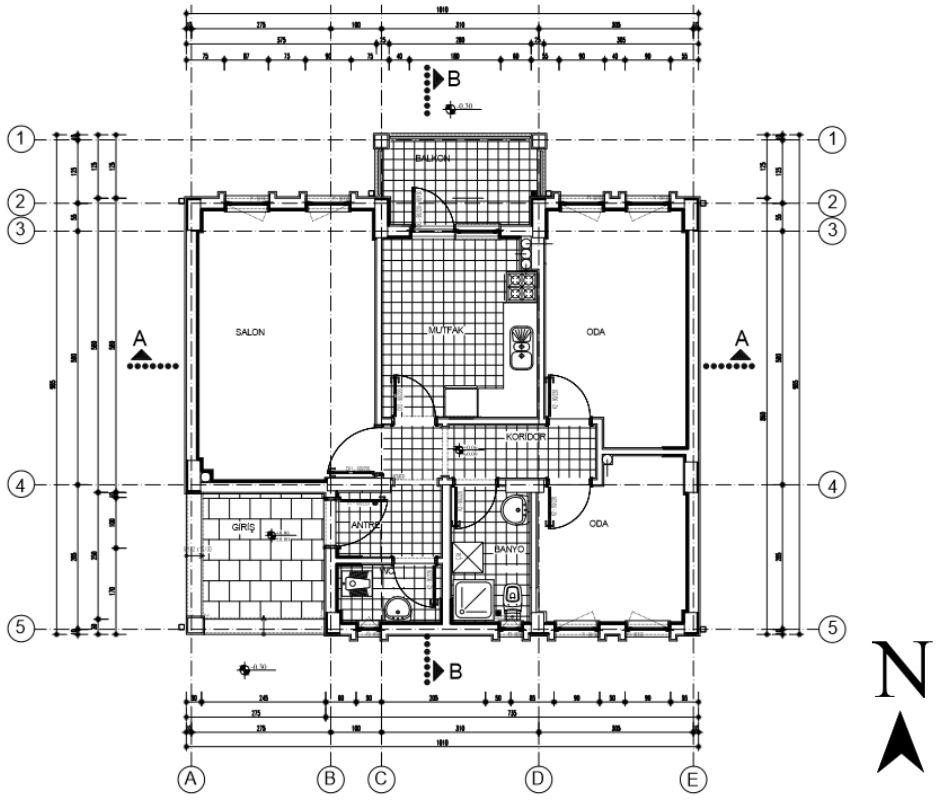
Tarımköy projesi Muğla Yatağan'da uygulanacak bir proje olup 127 konuttan meydana gelmiştir. Uygulama çalışmasında 127 konutun en kuzeyindeki 12.00 kotunda bulunan 35 adet konut ele alınmış, TOKİ'den alınan çizimlere, uygulama projesi detaylarına göre bu konutlar Design Builder adlı programda modellenmiştir. Projenin uygulandığı varsayılan diğer üç bölgenin de dış iklim verileri programın veritabanından alınmış, programdaki konut konfor sıcaklık verileri esas seçilerek programa veri olarak girilmiştir. Mekanlarda istenen iç mekan konfor sıcaklıkları

ısıtmanın devreye girdiği sıcaklık olarak 18 °C, soğutmanın devreye girdiği sıcaklık olarak ise 25 °C derece olarak belirlenmiştir.

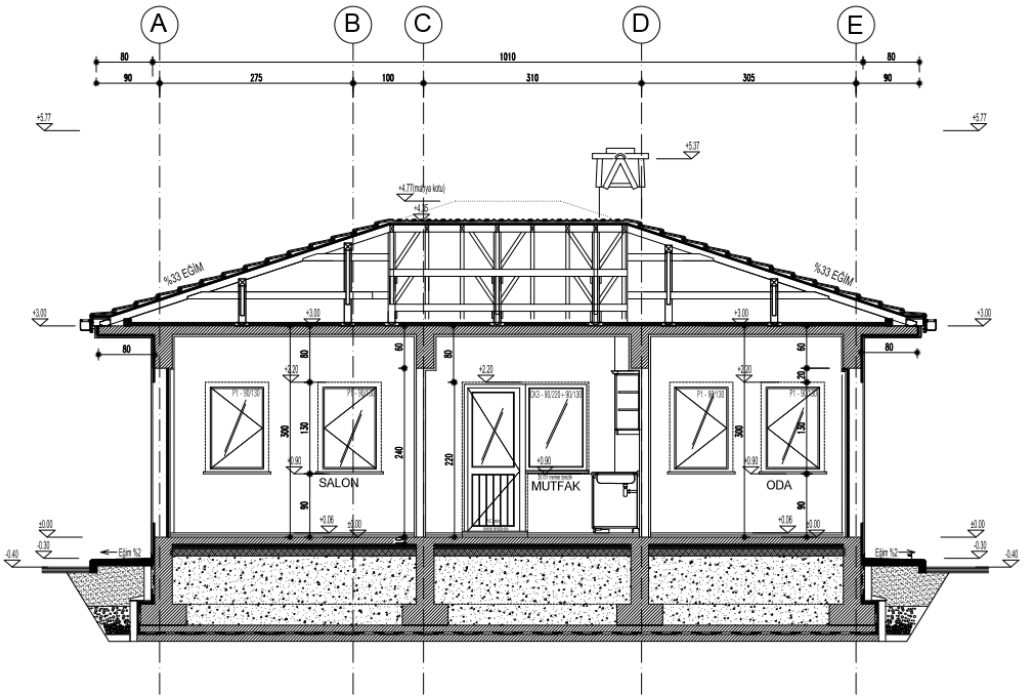
Enerji simülasyonlarında seçilen konutların birbirini gölgeleme etkileri ele alınarak Tarımköy konut modellemesi oluşturulmuştur.

5.2.1.1 Referans projenin plan şeması ve formu

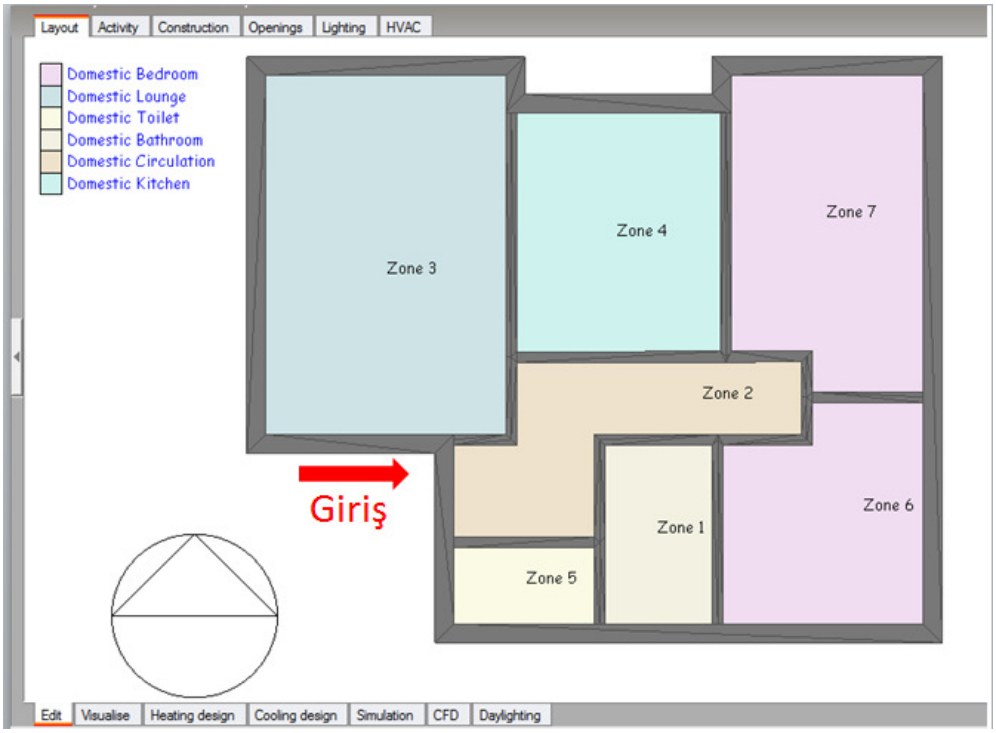
Her bir konut 79 m² iç hacim ve 5 m² balkon olmak üzere 83 m² den oluşmakta, her konutta 2 oda 1 salon,1 mutfak, 1 banyo, 1 wc ve hol bulunmaktadır. Tarımköy projesinin autocad formatındaki planlarından yararlanırlarak Design Builder'da modellleme oluşturulmuştur. Şekil 5.1'de TOKİ Tarımköy projesine ait kat planı, Şekil 5.2'de kesit çizimi, Şekil 5.3'de Design Builder'daki plan şeması ve ısıl zonlar, Şekil 5.4'de modeli yapılan arazinin vaziyet planı verilmiştir.



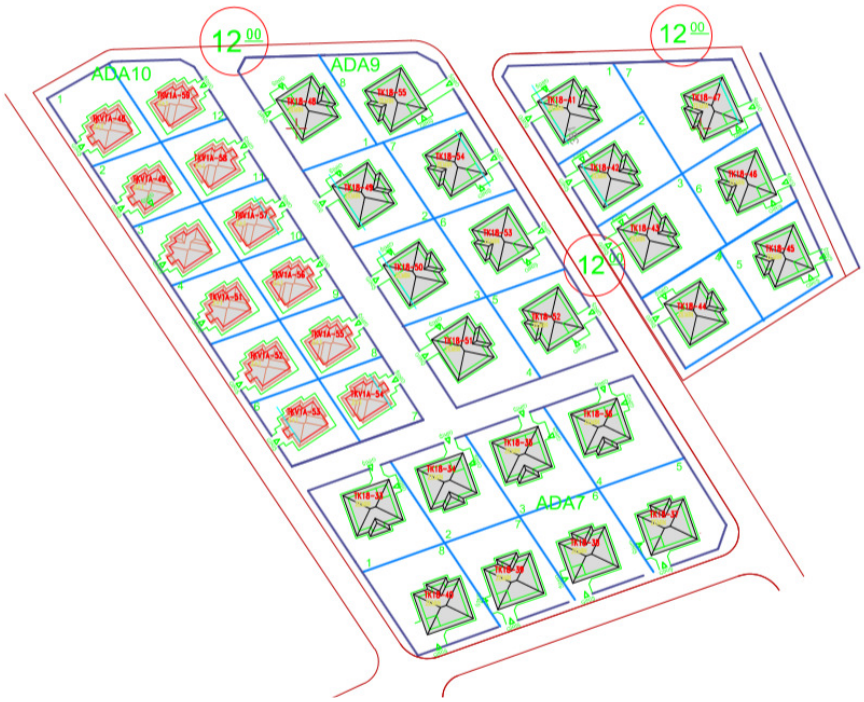
Şekil 5.1 : TOKİ Tarımköy projesine ait kat planı.



Şekil 5.2 : TOKİ Tarımköy projesine ait A-A kesiti.



Şekil 5.3: Tarımköy konutunun Design Builder'daki plan şeması.



Şekil 5.4 : Modeli yapılan arazinin vaziyet planı.

5.2.1.2 Referans projenin yönlendirilişi

Farklı rüzgar hızlarına sahip bölgelerde aynı seçilen referans binanın performansını değerlendirebilmek için, binanın enerji giderleri hesaplanırken her bölgenin hakim rüzgar yönünde yönlendirildiği varsayılmış, simülasyon bu yönlendirmeye göre yapılmıştır. Çizelge 5.1 seçilen bölgelerin hakim rüzgar yönlerini vermektedir.

Rüzgar hızları hesaplanırken seçilen yerleşme alanında binaların ve sokakların yerleşmenin bulunduğu yörenin hakim rüzgar yönüne doğru yönlendirildiği, rüzgarın hiç kesintiye uğramadan en verimli şekilde binaya ulaştığı varsayılmıştır.

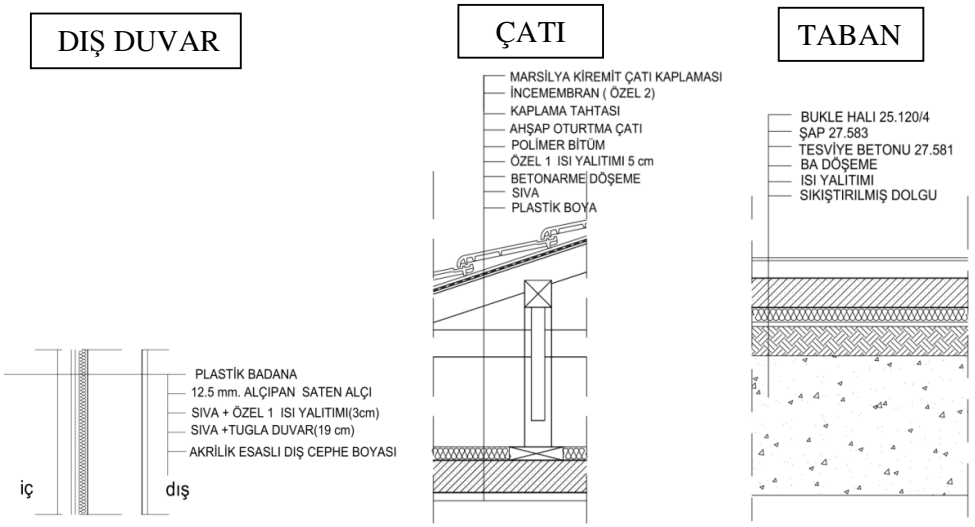
Çizelge 5.1: Seçilen bölgelerin hakim rüzgar yönleri.

Seçilen Bölgeler	Hakim rüzgar yönleri
Bolu- Gerede	Kuzeydoğu-Güneybatı
Muğla-Yatağan	Kuzeydoğu
Mersin- Silifke	Güneybatı-batı
Balıkesir- Bandırma	Kuzey-Kuzeydoğu

5.2.1.3 Referans binanın kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Yapı kabuğuna ilişkin veriler TOKİ'den alınan uygulama projesine göre programa aktarılmıştır. Şekil 5.5' de dış duvar, tavan ve taban katmanları gösterilmiştir.

Projede verilen malzemeler kalınlıkları ile birlikte programa girildikten sonra program yapı kabuğu detaylarının U değerlerini ve ısıl performanslarını hesaplayıp simülasyonu bu değerlere göre yapmaktadır.



Şekil 5.5 : Tarımköy projesinin dış duvar, çatı ve taban detayları.

Kabuğun saydam bileşeni olarak projede pvc doğramalı 4mmlik çift cam ve 16cm'lik boşluk olarak belirlenmiştir.

5.2.1.4 Referans projenin enerji giderlerinin hesaplanması için yapılan kabuller

Ülkemizde doğalgaz yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, henüz tarımköy projesinin yapıldığı alan olan Muğla'da doğalgaz kullanılmamaktadır.

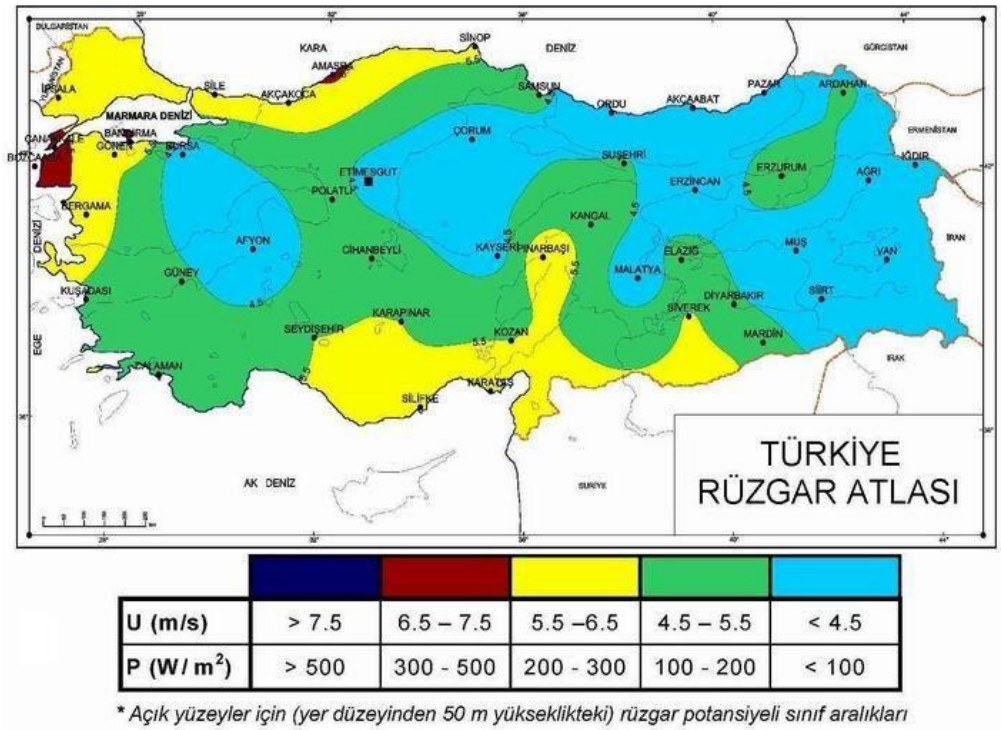
Ayrıca üretilen rüzgar enerjisinin konutun enerji tüketimini hangi oranda karşılayacağını irdelemek açısından soğutmanın yanı sıra ısıtmanın da elektrik enerjisi ile yapıldığı kabul edilmiştir. Isıtma için fan coil kullanıldığı, soğutma için ise klima kullanıldığı, ısıtma sisteminin 18 ºC' de soğutmanın ise 25 ºC' de devreye girdiği düşünülmüştür. Sıcak suyun da elektrik ile karşılandığı varsayılmış, suyun elektrikli kombi ile ısıtıldığı varsayılmıştır.

Aydınlatmada da elektrik enerjisi kullanılmış, mekanların aydınlatılması için kompakt floresan lambalar tercih edilmiştir. Tüm bu veriler Design Builder adlı programa veri olarak girilip simülasyon yapılmıştır.

5.2.2 Mevcut projenin enerji giderlerinin farklı bölgeler için hesaplanması

Tarımköy projesinin, yer aldığı bögedeki rüzgar hızına bağlı olarak rüzgar türbininden üretilen enerjisinin belirlenmesi için dört farklı rüzgar bölgesinden seçilen bir alanda kurulacağı varsayılmıştır. 2. bölümde açıklandığı gibi, Türkiye'de rüzgar, farklı bölgelerde farklı hızlarda görülmektedir. Bunun sonucunda bu hızları belirlemek için uzun çalışmalar sonucunda Türkiye Rüzgar Atlası adlı bir harita hazırlanmıştır.

REPA adlı Türkiye Rüzgar Enerjisi Atlası'ndan Türkiye'de bulunan dört farklı rüzgar bölgesi belirlenmiş, rüzgar haritası Türkiye'nin iklim bölgeleri haritası ile süperpoze edilerek, seçilen yörelerin hangi iklim bölgelerinde yer aldığı belirlenmiştir. Seçilen her yörenin il bazında rüzgar haritalarından rüzgar hızı en yüksek olan alanlar ve hızları belirlenip projenin inşa edileceği alan olarak varsayılmıştır.



Şekil 5.6 : Türkiye Rüzgar Atlası (http://www.mgm.gov.tr).

REPA'daki bölgeler bu uygulama çalışmasında Çizelge 5.2'deki gibi adlandırılmıştır. Ülkemizde koyu mavi bölge'deki rüzgar hızına sahip alan çok az bulunduğundan bu bölge değerlendirilmeye alınmadığı için 0. Bölge olarak adlandırılmıştır. Uygulama çalışması 1,2,3,4. Bölgeler için yapılmıştır.

Çizelge 5.2: Repa'daki bölgelerin uygulama çalışmasında adlandırılması.

Koyu Mavi Bölge	0. Bölge
Kırmızı Bölge	1. Bölge
Sarı Bölge	2. Bölge
Yeşil Bölge	3. Bölge
Açık Mavi Bölge	4. Bölge

Adlandırılan rüzgar bölgelerinden seçilen yöreler ise Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 : Farklı rüzgar bölgeleri için seçilen yöreler.

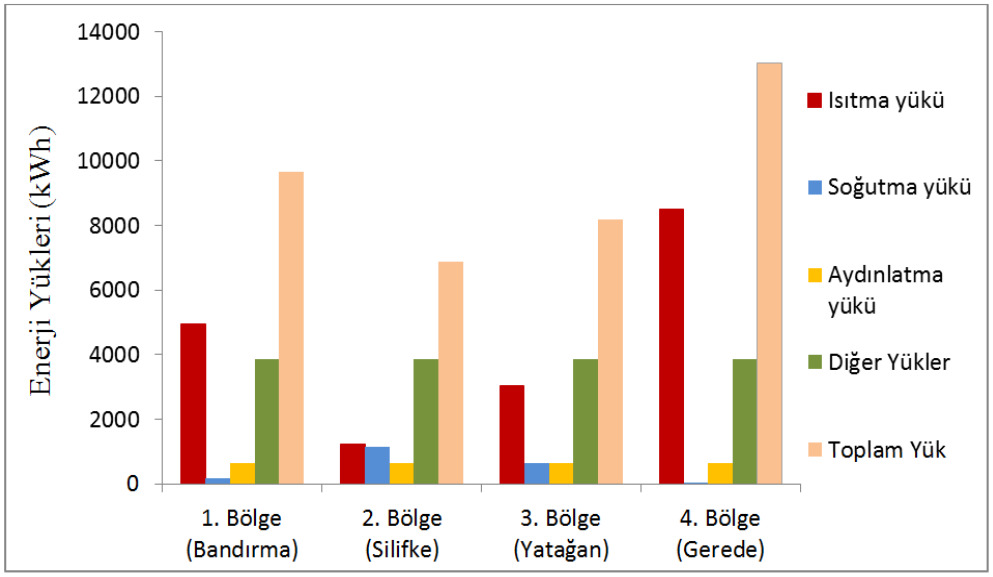
Rüzgar Bölgeleri	**Seçilen Yöreler**
1. Bölge (8-8,5m/sn)	Balıkesir-Bandırma
2. Bölge (7-7,5 m/sn)	Mersin-Silifke
3. Bölge (5,5-6m/sn)	Muğla-Yatağan
4. Bölge (3,5-4m/sn)	Bolu- Gerede



Şekil 5.7 : Referans binanın vaziyet planında gösterimi.

Tüm verileri girilen tarımköy projesinde enerji simülasyonu yapılacak referans bina vaziyet planında Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Referans binanın enerji yükleri 4 farklı rüzgar bölgesinden seçilen yöreler için hesaplanmıştır. Şekil 5.8'de farklı rüzgar bölgeleri için enerji yükleri görülmektedir.



Şekil 5.8 : Dört farklı rüzgar bölgesindeki TOKİ konut projesi örneğinin mevcut durumdaki ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji yükleri.

Çizelge 5.4 : Dört farklı rüzgar bölgesindeki TOKİ konut projesi örneğinin mevcut durumdaki ısıtma, soğutma, aydınlatma ve toplam enerji yükleri.

	Bandırma (1. Bölge)	Silifke (2. Bölge)	Muğla (3. Bölge)	Bolu (4. Bölge)
Isıtma yükü(kWh)	4968	1227	3041	8502
Soğutma yükü(kWh)	178	1148	637	27
Aydınlatma yükü(kWh)	660	641	651	654
Diğer yükler(kWh)	3852	3852	3852	3852
Toplam yük(kWh)	9658	6868	8181	13035

Şekil 5.8 ve Çizelge 5.4 ısıtmanın, soğutmanın ve aydınlatmanın elektrik ile yapıldığı varsayıldığındaki enerji yükleri değerlerini vermektedir. Binanın toplam yükleri; ısıtma, soğutma, aydınlatma yüklerine ek olarak, diğer yükler olarak belirtilmektedir. Diğer yükler; sıcak su yükü, elektrikli aletlerden kaynaklanan

yükler, prizler, sistem yükleri olarak belirlenmiştir. Sistem yükleri fanlardan, kontrol elemanlarından ve pompalardan kaynaklanan binaya ait olan yüklerdir. Bütün sistemlerde elektrik kullanıldığı varsayıldığında , sistemden kaynaklanan yüklerin de yüksek bir değerde olduğu görülmektedir.

Referans binanın soğuk iklim bölgesinden seçilen Gerede'de yer alması durumunda enerji yükleri, sıcak nemli iklim bölgesinden seçilen Silifke'de bulunması durumundaki enerji yüklerinin yaklaşık 2 katı kadar yüksektir. Seçilen yöreler arasında referans binanın Gerede'de yer alması durumunda 13035 kWh en yüksek yıllık enerji yükü oluşmaktadır. Bu değerin 8502 kWh'lik kısmı da ısıtma enerjisi kaynaklıdır.

En düşük yıllık enerji yükü referans binanın Silifke'de olması durumunda oluşmakta olup bu değer 6868 kWh 'dır. Bu durumda ısıtma yükü 1227 kWh iken soğutma yükü ise 1148 kWh'dır. Bu bölgede referans binanın soğuk bölgede olması durumuna göre ısıtma enerjisi yükü oldukça düşmesine rağmen, soğutma yükü diğer bölgelere göre oldukça yüksektir.

5.2.3 Mevcut projeye entegre edilecek rüzgar türbininin ve türbinin yerleştirildiği arazinin özellikleri

Rüzgar türbininin verimini etkileyen binaya ve türbine ait parametreler bölüm 3.5.3'de anlatılmıştır. Binaya ve türbine ilişkin bu parametrelerden TOKİ Tarımköy projesine en uygun olan kombinasyon seçilmiş, uygulama çalışmasında bu değerler kullanılmıştır.

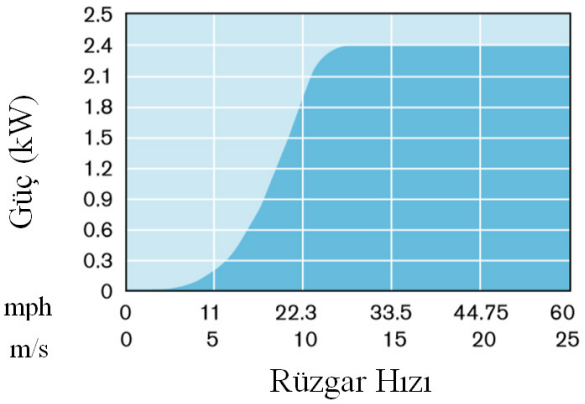
Uygulama çalışmasında Skystream 3.7 adlı 1,8 kW'lık nominal bir güce sahip rüzgar türbini seçilmiştir. TOKİ Tarımköy projesinde kullanıldığı varsayılan türbinin modeli ve özellikleri Çizelge 5.5'de görülmektedir. Bu türbin 1.8 kW boyutunda küçük ölçekli Skystream 3.7 adlı konutlarda yaygın kullanılan bir rüzgar türbinidir.

Bu rüzgar türbininin seçilmesinin nedeni, bu markanın Dünyada küçük ölçekli türbinlerde en çok satılan 5 türbin markasının içinde olması ve türbinin 1,8 kW'lık gücünün tarımköy konutlarında bahçede kullanıma uygun olması, rotor çapı olarak da tarımköy arazisinde konumlandırılacak boyutta olmasıdır.

Çizelge 5.5 : Tarımköy projesinde her bina için kullanılacak rüzgar türbininin teknik özellikleri (http://windenergy.com).

Model	Skystream 3.7
Kapasitesi	1,8 kW, max. 2,4 kw
Ağırlık	77 kg
Rotor Çapı	3,72 metre
Süpürme Alanı	10,87 m²
Kanat Sayısı	3- karbon fiber kompozit
Üretime Başlama Hızı	3.0 m/sn
Rüzgara Dayanım Hızı	63 m/sn
Voltaj	120-240 V AC 50-60 HZ
Güç	11 m/sn'de 2,1 kW
Koruma Sistemi	Elektronik Koruma
Gövde	Demir döküm gövdeli,sadece iki hareket eden parça, tam bakımsız
Garanti	5 yıl

Uygulamada kullanılacak olan Skystream 3.7 adlı 1,8 kW'lık nominal bir güce sahip rüzgar türbininin değişen rüzgar hızlarında üretebileceği güçleri gösteren grafik Şekil 5.9' daki gibidir. Türbin ancak yaklaşık 10 m/s rüzgar hızında nominal güç değeri olan 1,8 kW güç verimine ulaşabilmekte, en yüksek değerine de 12 m/sn'de ulaşmaktadır. Örnek olarak rüzgar hızı 8 m/s olması durumunda türbin yaklaşık 0,9 kW gücünde elektrik üretebilecektir.



Şekil 5.9 : Rüzgar hızı- türbin gücü performans eğrisi (http://windenergy.com).

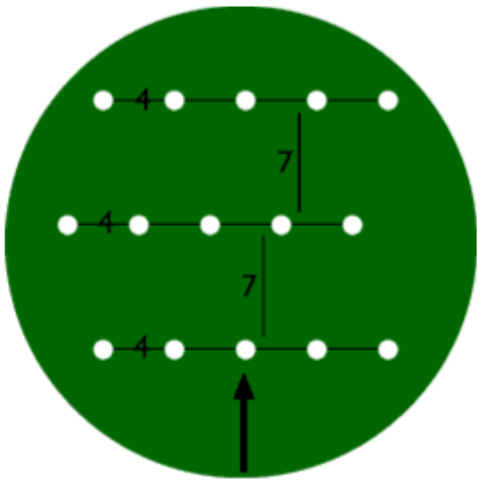
Programda türbinin üreteceği enerji miktarı belirlenirken programa girilen araziye ve türbine ait diğer veriler Çizelge 5.6' daki gibidir. Seçilen türbinin ve arazinin

özellikleri girildikten sonra verilen program (excel) dosyasında türbinin yıllık üreteceği enerji miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 : Rüzgar türbini analizi için girilen diğer veriler.

Projenin analizi için girilecek veriler		
Anomometre yüksekliği	50 m.	(REPA'dan alındı)
Weibull parametresi	2	(köy alanlarında 2)
Rüzgar Kesme (pürüzlülük)	0,143	(az pürüzlü alanlarda)
Arazinin rakımı	12 m.	(konutlar 12 m. rakımda inşa edildi)
Türbin rotor yüksekliği	21,33 m.	(70 feet seçildi)

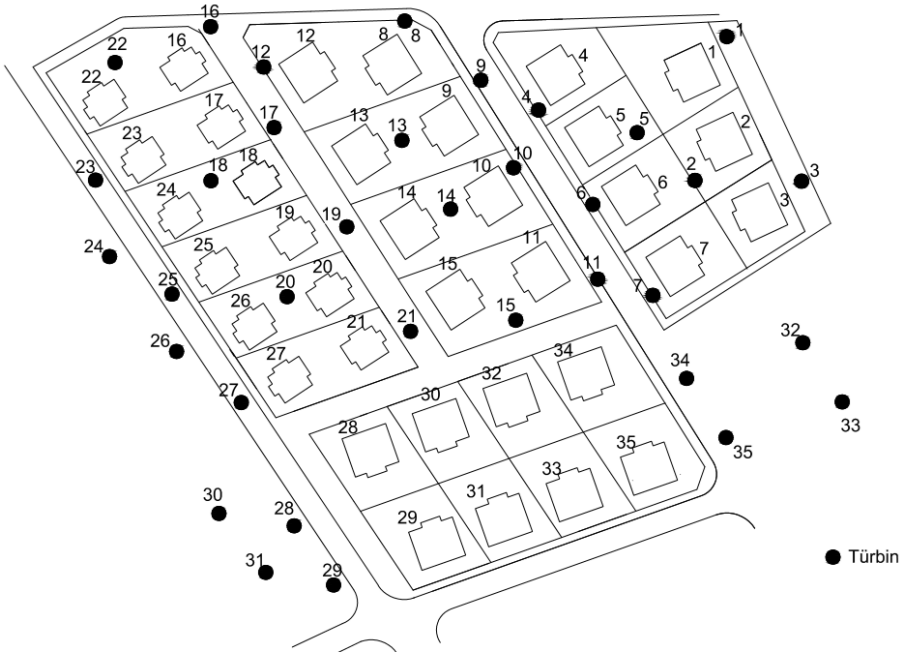
Bu projede kullanılacak olan rüzgar türbini her konutun bahçesine entegre edilmiş, ve her türbin birbirinin rüzgar hızını kesmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Seçilen arazideki yolların ve konutların her bölgede o bölgenin hakim rüzgar yönü doğrultusunda yerleştirildiği varsayıldığından, türbin, rüzgarı en iyi alan konumlara yerleştirilmiştir. Rüzgarın kimi zaman hakim rüzgarın tam tersi yönde de estiği bilindiğinden, türbinin hakim rüzgar yönü ve onun tam tersi yönüne bina yerleştirilmemiştir. Her konutun bahçesine yerleştirilecek türbinin oluşturacağı türbülanslar birbirini engellemeyecek uzaklıktadır. Büyük güçlü rüzgar türbinlerinde türbinler Şekil 5.10'da görüldüğü gibi kanat çapının 4 katı kadar enine uzaklık, 7 katı kadar da boyuna uzaklık bırakılarak yerleştirilmelidir.



Şekil 5.10 : Büyük güçlü türbin minimum yerleşim planı (Durak, Özer, 2008).

Tarımköy projesininde kullanılacak türbininin kanat çapı 3,72 metredir. Türbinlerin vaziyet planında yerleşimleri Şekil 5.11'de görülmektedir. 1-27 arası konutlara ait

olan türbinler konutların bahçesine yerleştirilmiştir. Bu türbinler arası mesafeler Şekil 5.10'daki değerden büyük durumdadır. Sadece alt sıradaki 28-35 arası numaralı konutlara ait türbinler konutların bahçesine yerleştirildiklerinde üst sıradaki konutların türbülansına gireceklerinden konut bloklarının yanlarında bulunan boş arazilere Şekil 5.11'deki gibi yerleştirilmiştir. Bu türbinlerin ürettikleri elektrik konutlara taşınmaktadır.



Şekil 5.11: Türbinlerin konutların bahçelerine yerleştirilme şemaları.

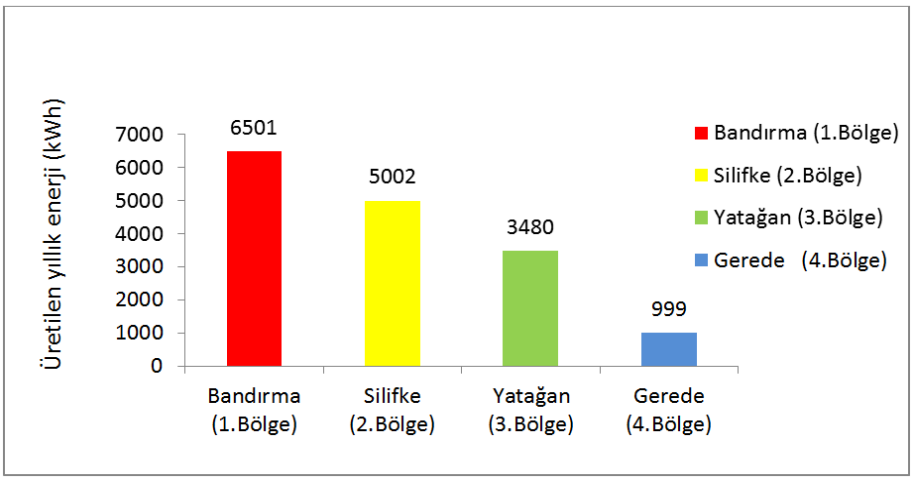
Tarımköy projesinin seçilen konutlarının rakımı 12 metre olarak alınmış, türbinin kule yüksekliği ise 70 feet=21,33 metre olarak seçilmiştir. Bu yükseklik Skystream 3.7 türbini için kullanıcının isteğine göre 10,2 m'den 33,5 m uzunluğa kadar değişebilmektedir. Türbin kule yüksekliğinin artması rüzgar hızını artıracağından, yükseklik türbin gücünü etkileyen en önemli etkenlerden biridir.

REPA'dan alınan hızlar 50 metre yükseklikten alınarak program veri dosyasına girilmiştir.

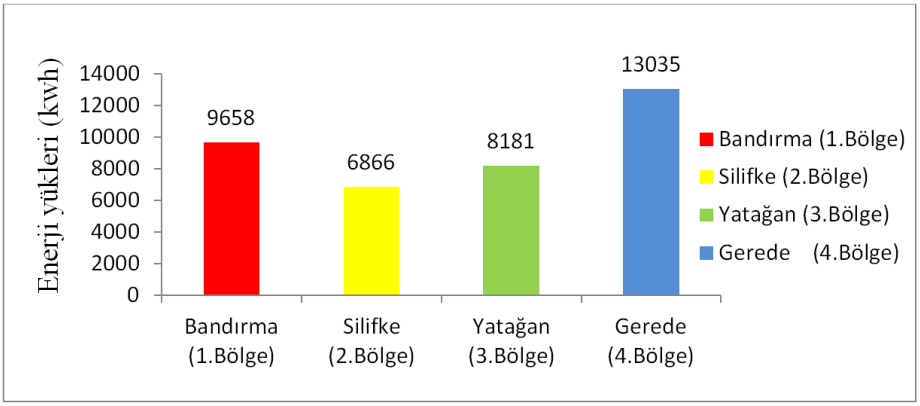
Tarımköy projesinin olduğu alan bir köy olduğundan türbinin üreteceği güç belirlenirken pürüzlülük uzunluğu da köy, az açık arazi pürüzlük uzunluğu için programın verdiği değer olan 0,143 olarak girilmiştir.

5.2.4 Proje için seçilen rüzgar türbininin farklı rüzgar bölgeleri için enerji üretiminin hesaplanması

Proje için seçilen rüzgar türbini ve araziye ilişkin veriler, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6' da verilmiştir. Bu veriler rüzgar türbinin üreteceği gücü belirleyen program dosyasına girilmiştir. Bu dosyada farklı rüzgar bölgesinden seçilen alanların rüzgar hızları girildikten sonra her bir bölge için türbinlerin ürettiği yıllık enerji değerleri Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12 : Farklı bölgelerdeki türbinlerin yıllık ürettikleri enerji.



Şekil 5.13 : Farklı rüzgar bölgelerindeki referans bina için hesaplanan yıllık toplam enerji tüketimleri.

Şekil 5.13'de ise farklı bölgelerde yer aldığı varsayılan konut yerleşmesinden seçilen referans bina için hesaplanmış olan yıllık toplam enerji tüketimleri verilmiştir.

5.2.5 Projenin farklı bölgelerdeki enerji giderlerinin ve rüzgar türbini üretiminin karşılaştırılması

Şekil 5.12'de verilen her bir bölge için türbinlerin ürettiği yıllık enerji değerleri ile Şekil 5.13'de verilen farklı bölgelerde yer aldığı varsayılan konut yerleşmesinin seçilen referans binası için hesaplanmış olan yıllık enerji tüketimleri karşılaştırılarak, referans bina için hesaplanan enerji tüketimlerinin hangi oranda rüzgar türbininin ürettiği elektrik enerjisi ile karşılanabileceği (karşılama oranı) belirlenmiştir. Bu değerler Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7: Rüzgar türbinin ürettiği enerji ile her bölge için referans binanın tükettiği enerjinin karşılanma yüzdeleri.

Rüzgar Bölgeleri	Isıtma+ Soğutma+ Aydınlatma Yükleri (kWh)	Yıllık Üretilen enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydltma Yüklerini Karşılama Oranı	Artan enerji (kWh)	Diğer yükler (kWh)	Kalan enerjinin diğer yükleri karşılama oranı
1. Bölge (8-8,5m/sn)	5806	6501	100%	695	3852	18%
2. Bölge (7-7,5 m/sn)	3016	5002	100%	1986	3852	51%
3. Bölge (5,5-6m/sn)	4329	3480	80%	–	3852	-
4. Bölge (3,5-4m/sn)	9183	999	10%	–	3852	-

Çizelge 5.7'de her rüzgar bölgesi için ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin toplamı verilmiş, tüm bölgelerde referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma tüketiminin tümünün elektrik ile yapıldığı varsayıldığında, bu bölgelerde rüzgar türbinininden üretilen enerji ile bu giderlerin ne kadarının karşılandığı bulunmuştur. 1. bölge ve 2. bölgede üretilen enerji ile ısıtma, soğutma ve aydınlatma giderlerinin tamamı karşılanmakta, bir miktar da enerji artmaktadır. 3. bölgeden seçilen alan olan Yatağan'da ise referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatmasının %80'i rüzgar türbininden üretilen enerjiden karşılanmıştır. Isıtma, soğutma ve aydınlatmadan kalan %20'lik kısım olan 849 kWh ve diğer yükler olan sistem yükleri, sıcak su yükü, elektrikli aletlerin ve prizlerin yükleri şebekeden karşılanacaktır. 4. bölgeden seçilen Gerede'de ise üretilen enerji çok düşük olduğundan, ısıtma, soğutma ve

aydınlatmanın %10'luk kısmı rüzgar türbininden karşılanmaktadır. Bu yüklerin %90'lık kısmı ve diğer yükler şebekeden karşılanacaktır.

5.2.6 Farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması

Bu adımda türbinin ürettiği elektrik enerjisi miktarına etki eden parametrelerin değişik değerlerine bağlı olarak farklı türbin alternatifleri

1. Kule yüksekliğine bağlı olarak ve
2. Türbin gücüne bağlı olarak

oluşturulmuş ve oluşturulan türbin alternatiflerinin ürettiği elektrik enerjisi hesaplanarak referans binanın tükettiği enerjiyi karşılama oranları belirlenmiş ve belirlenen değerler karşılaştırılmıştır.

5.2.6.1 Kule yüksekliğine bağlı olarak farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması

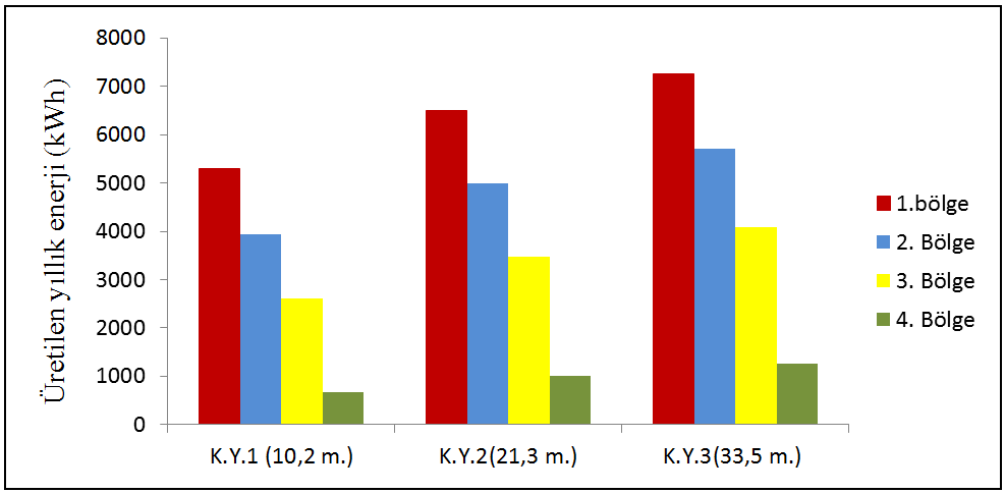
Seçilen Skystream 3.7 adlı türbin için türbin üreticilerinin belirlediği 5 farklı kule yüksekliği seçeneği bulunmaktadır. İlk yapılan uygulamada türbin kule yüksekliği 70 feet = 21,3 metre olarak seçilmiş, hesaplamalar bu değere göre yapılmıştır.

Bu adımda türbin alternatifleri, en yüksek ve en düşük kule yüksekliğine göre belirlenmiş, her bir rüzgar türbininden üretilen enerji hesaplanmış ve hesaplama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu adımda alternatifler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- K.Y 1: Kule yüksekliği - 33 feet = 10,2 metre
- K.Y. 2: Kule yüksekliği - 70 feet = 21,3 metre (ilk uygulamada kullanılan değer)
- K.Y. 3: Kule yüksekliği - 110 feet = 33,5 metre

Farklı türbin kule yüksekliğine sahip alternatiflerin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri Şekil 5.14'de ve Çizelge 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.14 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri.

Çizelge 5.8 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri.

Rüzgar Bölgeleri	**K.Y.1 (10,2 m.) (kWh)**	**K.Y.2 (21,3 m.) (kWh)**	**K.Y.3 (33,5 m.) (kWh)**
1. Bölge	5306	6501	7254
2. Bölge	3929	5002	5712
3. Bölge	2617	3480	4083
4. Bölge	675	999	1252

Yüksek türbinlerin küçük rüzgar türbin sistemleri için en ekonomik çözümler olduğu ve türbin kule yüksekliği arttırıldıkça rüzgar hızı da artacağından, üretilen enerjinin artacağı daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Yüksek türbinler ile düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde bile kaliteli ve verimli rüzgar hızları elde edilip iyi sonuçlara ulaşılabilir.

Uygulamanın bu adımında da aynı türbinin 3 farklı kule yüksekliğine sahip alternatifleri değerlendirilmiş, bu alternatiflerin dört farklı rüzgar bölgesinde ürettikleri yıllık enerji miktarları verilmiştir. Türbin kule yüksekliği arttırıldıkça yıllık üretilen enerji miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.9 : Kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinden üretilen enerji ile her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini karşılama yüzdeleri.

Rüzgar Böl.	Ist+ Soğ+ Aydltma Yüklerini K.Y.1 ile karşılama oranı	K.Y.1'de Ist+Soğ+Aydnltma yüklerinden artan enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydltma Yüklerini K.Y.2 ile karşılama oranı	K.Y.2'de Ist+Soğ+ Aydltma yüklerinden artan enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydltma Yüklerini K.Y.3 ile karşılama oranı	K.Y.3'de Ist+Soğ+ Aydltma yüklerinden artan enerji (kWh)
1. Bölge	%91	-	%100	695	%100	1448
2. Bölge	%100	913	%100	1986	%100	2696
3. Bölge	%60	-	%80	-	%94	-
4. Bölge	%7	-	%10	-	%13	-

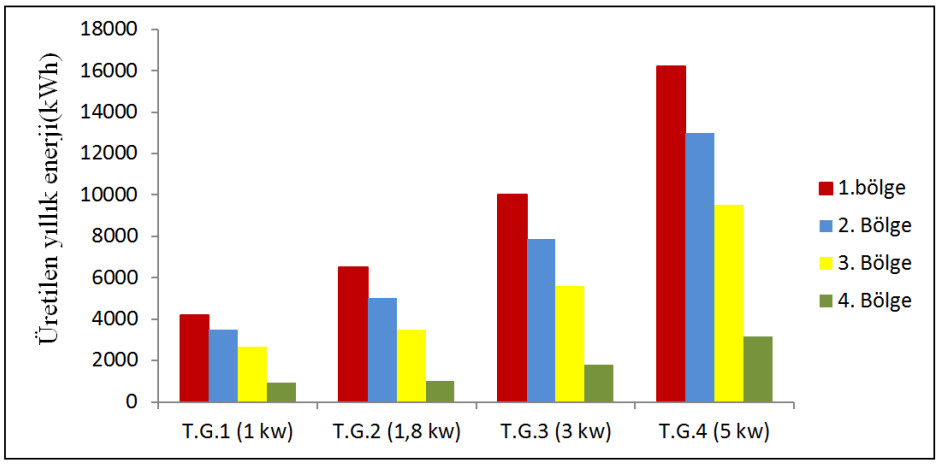
Çizelge 5.9'da kule yüksekliğine bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinden üretilen enerji ile her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini karşılama oranları ve tamamını karşılayan bölgelerde de ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri karşılandıktan sonra artan enerji miktarı verilmiştir. 1. bölgede kule yüksekliği 10,2 metre iken referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin %91'i karşılanabilirken, kule yüksekliği 33,5 metre olduğunda ise ısıtma, soğutma ve aydınlatmanın tamamı karşılanmış, artan 1448 kWh'lık enerji de diğer yükleri karşılamak için kullanılmıştır. 4. bölgede 10,2 metrelik türbinle referans binanın ısıtma soğutma ve aydınlatma yükleri %7 oranında karşılanabilirken, kule yüksekliği 33,5 metreye çıktığında ise ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükleri %13 oranında karşılanmıştır. Türbin kule yüksekliği arttırıldıkça türbinin ürettiği enerji ile referans binanın yıllık enerji giderlerini karşılama oranlarının arttığı görülmüştür.

5.2.6.2 Türbin gücüne bağlı olarak farklı türbin alternatiflerinin seçilmesi ve rüzgar enerjisi üretimlerinin hesaplanması

Mevcut projeye entegre etmek için seçilen Skystream 3.7 adlı türbinin gücü 1,8 kw olup, rotor çapı 3,72 metre, süpürme alanı da 10,87 m² dir. Rüzgar türbin gücünün, rüzgarın üreteceği enerjiye etkisini görebilmek için, 4 farklı güçte türbin kullanıldığı varsayılarak alternatifler oluşturulmuştur. Doğru bir değerlendirme yapabilmek için türbinin yüksekliği sabit tutulmuş, sadece türbin gücü değiştirilerek 4 farklı bölgede

analiz yapılmıştır. Konutlarda kullanılan 4 farklı türbin gücü için seçilen alternatifler aşağıdaki gibidir.

- T.G.1 : Türbin gücü - 1 kW
- T.G.2 : Türbin gücü - 1,8 kW (ilk uygulamada kullanılan değer)
- T.G.3 : Türbin gücü - 3 kW
- T.G.4 : Türbin gücü - 5 kW



Şekil 5.15 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri.

Çizelge 5.10 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerin farklı bölgeler için ürettikleri enerji değerleri.

Rüzgar Bölgeleri	**T.G.1 (1 kw) (kWh)**	**T.G.2 (1.8 kw) (kWh)**	**T.G.3(3 kw) (kWh)**	**T.G.4(5 kw) (kWh)**
1. Bölge (8 m/sn)	4197	6501	10040	16213
2. Bölge (7 m/sn)	3510	5002	7859	12987
3. Bölge (6m/sn)	2680	3480	5614	9521
4. Bölge (4m/sn)	936	999	1812	3151

Rüzgar türbininin gücü arttırıldığında türbinin üreteceği enerji miktarının da artacağı 4 farklı alternatif ile Şekil 5.15 ve Çizelge 5.10'da görülmüştür. Rüzgar türbininin gücünün arttırılması, türbin kanat çapını, bu da türbin süpürme alanını arttırdığından birim zamanda rüzgardan üretilen enerji miktarı da artmıştır. Şekil 5.15 aracılığı ile her bölgenin rüzgar hızları değiştirilmeden, aynı türbin kule yüksekliğinde yapılan uygulamada türbin gücünün, türbinden üretilen enerjiye etkisi görülmektedir.

Çizelge 5.11 : Türbin gücüne bağlı olarak seçilen türbin alternatiflerinden üretilen enerji ile her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini karşılama yüzdeleri.

Rüzgar Böl.	Ist+ Soğ+ Aydnltma Yüklerini T.G.1 ile karşılama oranı	T.G.1'de Ist+Soğ+Aydnltma yüklerinden artan enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydnltma Yüklerini T.G.2 ile karşılama oranı	T.G.2'de Ist+Soğ+ Aydnltma yüklerinden artan enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydnltma Yüklerini T.G.3 ile karşılama oranı	T.G.3'de Ist+Soğ+ Aydnltma yüklerinden artan enerji (kWh)	Ist+Soğ+ Aydnltma Yüklerini T.G.4 ile karşılama oranı	T.G.4'de Ist+Soğ+ Aydnltma yüklerinden artan enerji (kWh)
1. Bölge	%72	-	%100	695	%100	4234	%100	10407
2. Bölge	%100	494 kwh	%100	1986	%100	4843	%100	7181
3. Bölge	%61	-	%80	-	%100	1285	%100	5192
4. Bölge	%9	-	%10	-	%20	-	%34	-

Çizelge 5.11'de ise türbin gücüne bağlı olarak seçilen farklı türbin alternatiflerinin her bölge için referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma için tükettiği enerjiyi karşılama oranları verilmiştir. Türbin gücü arttırıldıkça tüketilen enerjiyi karşılama oranı artmıştır. Türbin gücü uygulama çalışmasında verilen ilk değer olan 1,8 kW olduğunda 1. bölgede ısıtma soğutma ve aydınlatma için tüketilen enerjinin tamamını karşılanmış, 695 kWh elektrik artmıştır. Türbin gücü 1 kW olduğunda ise 1. bölgede üretilen enerji o bölgedeki referans binanın ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini % 72 oranında karşılamaktadır. Türbin gücü 5 kW'a çıktığında ise 1. bölgede ısıtma soğutma ve aydınlatmanın tamamı karşılanmış, 10407 kWh enerji de artmıştır. Isıtma, soğutma ve aydınlatma için tüketilen enerjinin çok olduğu 4. rüzgar bölgesinden seçilen Bolu'da ise türbin gücü 1 kW iken üretilen enerji ile ısıtma soğutma ve aydınlatma % 9 oranında karşılanmakta, türbin gücü 5 kW'a çıktığında ısıtma, soğutma ve aydınlatmayı karşılama oranı %34 olmaktadır. Türbin gücünün artması üretilen enerjinin artışını büyük ölçüde etkilemektedir.

Türbin gücü 5 kW olduğunda 1. 2. ve 3. bölgelerde ısıtma, soğutma ve aydınlatmanın tamamı karşılanmış, artan enerji miktarları ile de konutun diğer yükleri olarak adlandırılan yükleri de karşılanmıştır. Artan bu enerjilerin kullanıcıya ek gelir sağlaması öngörülmüştür. 4. bölgede ise rüzgar hızı oldukça düşük, tüketilen enerji de yüksek olduğundan 5 kW'lık türbin ile ısıtma soğutma ve aydınlatma için

tüketilen enerjinin %34'ünün karşılanabildiği görülmüştür. Çizelge 5.11'e göre konutlarda da yüksek güce sahip türbinleri kullanmanın daha kullanışlı olduğu görülmektedir.

6. BULGULAR

Uygulama çalışmasında esas olarak ele alınan TOKİ Tarımköy projesi konut örneğinin Türkiye'nin farklı rüzgar bölgelerinde olduğu kabul edilerek konutun ısıtma, soğutma, aydınlatma ve diğer enerji yükleri, enerji simülasyon programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Seçilen projenin farklı rüzgar bölgelerinde farklı türbin alternatiflerinin uygulanması durumunda üretilen elektrik enerjisi de hesaplanarak, konut enerji yüklerinin hangi oranda rüzgardan karşılanacağı belirlenmiştir.

Rüzgarın hızının farklı olduğu 4 rüzgar bölgesinden seçilen alanlarda yapılan uygulamada, rüzgar hızının rüzgarın ürettiği enerji miktarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Türbine ve araziye ait özelliklerin sabit tutulduğu uygulamada, rüzgarın en düşük hızda estiği bölge olarak kabul edilen 4. bölgede yer alan Gerede'de rüzgardan üretilecek enerji yıllık 999 kWh saat iken, en yüksek rüzgar hızına sahip 1. bölgeden seçilen Bandırma'da ise aynı türbinden yıllık 6501 kWh saatlik enerji üretilmektedir. Rüzgarın ürettiği enerji, hızının küpü oranında arttığından rüzgar hızının fazla olduğu yerlerde rüzgardan üretilen enerji miktarı da oldukça fazladır.

Simülasyon sonuçlarında görüldüğü gibi, rüzgar enerjisi rüzgar hızının yüksek olduğu alanlarda oldukça verimli olmasına karşın, hem rüzgar hızının düşük olduğu, hem de enerji tüketiminin çok olduğu Bolu gibi soğuk iklim bölgesine ait bir bölgede oldukça verimsizdir.

Rüzgar türbini en çok enerjiyi ılımlı nemli iklim bölgesinden olan ve 1. bölgeden seçilen Bandırma'da üretmekte, o bölgede üretilen enerji, ısıtma soğutma ve aydınlatmanın tamamını karşılamakta, bir miktar da enerji artmaktadır. Artan enerji diğer yükler olarak adlandırılan sıcak su, elektrikli aletlerin yükü, prizler ve sistem yüklerinin bir kısmını daha karşılamaktadır. Rüzgardan üretilen enerji ile bu yükler de %18 oranında karşılanmakta, kalan enerji giderleri için gereken 3157 kWh elektriğin şebekeden çekilmesi gerekmektedir.

Rüzgar hızının en yüksek olduğu alan olan Bandırma'da rüzgar türbini verimli olmasına rağmen, bölgenin ısıtma enerjisi giderleri de yüksek olduğundan 1,8 kW'lık bir türbin tek katlı mevcut konutun ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin tamamını karşılarken, kalan sistem yüklerinin ancak bir kısmını karşılayabilmektedir.

Sıcak nemli iklim bölgesine ait Silifke 2. rüzgar bölgesinde bulunmakta, burada üretilen enerji Bandırma'da üretilenden az olmasına rağmen, referans konutun Silifke'de yer alması koşulunda konutun ısıtma enerjisi yükleri, referans konutun Bandırma'da yer alması koşulunda konutun ısıtma enerjisi yüklerinden daha düşük olduğundan, Silifke'de üretilen enerji, bölgedeki konutun ısıtma soğutma ve aydınlatma yüklerinin tamamını karşılamakta, diğer yüklerin de %51'lik kısmını karşılamaktadır.

Ilımlı kuru iklim bölgesinden seçilen, 3. rüzgar bölgesine ait Muğla - Yatağan Tarımköy konutunun ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji giderlerinin %80'inin rüzgar enerjisi ile karşılanacağı bulunmuştur. 3. bölgedeki türbinin üreteceği elektrik, konutun ısıtma, soğutma, aydınlatma giderlerine yetmemektedir.

Soğuk iklim bölgesine ait Bolu – Gerede 4. rüzgar bölgesinde bulunduğundan rüzgar hızı ve rüzgardan üretilen enerji çok düşük bir değerdedir. Bu bölge soğuk iklim bölgesinde yer aldığından, ısıtma enerjisi giderleri de oldukça yüksek olduğundan, rüzgardan üretilen enerji ile konutun ısıtma, soğutma ve aydınlatma giderleri %10 oranında karşılanmaktadır.

Çalışmada ayrıca rüzgar türbininin kule yüksekliğine ve türbin gücüne bağlı olarak üretilen enerjiye etkileri de irdelenmiştir.

Rüzgar türbin kule yüksekliğinin rüzgar enerjisi üretimine etkisini irdelemek için türbin kule yüksekliğine ait, 3 alternatif seçilmiş, bu 3 alternatifin her bölgede ürettiği yıllık enerji miktarları bulunmuştur. Rüzgar türbin kule yüksekliği arttıkça, rüzgardan üretilen enerji artmıştır. 1. bölgede 10,2 metrelik kuleye sahip türbin, 5306 kWh elektrik üretirken, 33,5 metrelik türbin 7254 kWh elektrik üretmektedir. 10,2 metrelik türbinin ürettiği enerji ile 1. bölgedeki ısıtma soğutma ve aydınlatma enerji yüklerinin %91'i karşılanırken, 33,5 metrelik türbin ile %100'ü karşılanmakta, 1448 kwh'de enerji artmaktadır. Bu çalışmada türbin kule yüksekliği arttıkça, bölgenin rüzgar hızının arttığı böylelikle rüzgardan üretilen enerjinin de arttığı görülmüştür.

Rüzgar türbin gücünün rüzgar enerjisine etkisini irdelemek için konutlarda kullanılabilecek küçük ölçekli türbin boyutlarından, 4 farklı alternatif seçilmiş, bu alternatiflerin hepsi için 4 farklı rüzgar bölgesinde, aynı türbin kule yüksekliğine sahip türbinlerle hesaplamalar yapılmış, üretilen enerjinin ısıtma, soğutma ve aydınlatmayı karşılama oranları ile ilgili grafikler oluşturulmuştur.

Türbin gücünün artması ile, türbinin kanat çapı ve süpürme alanı da artacağından türbinin rüzgarı yakalaması artar. Rüzgara daha fazla maruz kalan türbinin üreteceği enerji miktarı da daha fazla olmaktadır. 1. bölgeden seçilen Bandırma'da 1kW'lık bir türbin ile 4197 kWh enerji üretilirken, aynı bölgede 5 kW'lık bir türbin kullanıldığı varsayıldığında, bu üretim 16213 kWh saate çıkmakta, ürettiği enerji miktarı yaklaşık 4 katına çıkmaktadır. 1. bölgede 5 kW'lık türbinin ürettiği enerjinin, aynı bölgede referans konutun tükettiği enerjiden çok daha fazla olduğu görülmüştür. 4. bölgeden seçilen Gerede'de ise 1kW'lık türbin ile 999 kWh enerji üretilirken, 5 kW'lık türbin ile 3151 kWh enerji üretilmekte, bu da rüzgar hızı en düşük olan 4. bölge için oldukça iyi bir değer olarak görülmektedir.

Rüzgar türbin gücünün artması, rüzgar türbininin ürettiği enerjiyi büyük oranda arttırdığı için konutlarda da büyük ölçekli türbin kurmak daha verimli görülmektedir.

7. SONUÇLAR

Ülkemizde artan enerji kullanımı ve buna bağlı çevresel sorunlarının çözümünde en etkili yollardan biri de temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktır. Temiz ve yenilenebilir bir enerji olarak rüzgar enerjisi ülkemiz açısından önemli potansiyel olarak görülmektedir. Enerji tüketimlerinde özellikle son yıllarda hızlı gelişen konut sektörünün büyük bir payı olması sebebi ile konut ve yerleşmelerde rüzgar enerjisinin kullanılması enerji tüketimlerinin azaltılmasına önemli bir katkı sağlayacaktır.

Enerji harcamalarının büyük bir kısmını oluşturan konut enerji giderlerini temiz enerjilerden sağlamaya yönelik yapılan bu çalışmada, konutların kullanacağı enerjinin rüzgar enerjisi tarafından karşılanması olanakları araştırılmıştır.

Referans konut olarak Muğla-Yatağan Yeşilbağcılar Beldesi Tarımköy yerleşkesinden bir konut seçilmiştir. Bu konutun seçilmesinin sebebi, maliyeti düşük küçük ölçekli bir binada rüzgar enerjisi kullanımı ile, tüm enerji giderlerini rüzgardan karşılayabilme olanağını irdelemektir.

Rüzgar hızı şehrin dokusu içinde dış engeller tarafından azaldığından, kentsel alanda kurulan rüzgar türbini kırsal alanda kurulan kadar verimli olmamaktadır. Kentsel alan içinde kurulan türbinin bakım, onarım ve binalara entegresi de kırsal alana göre daha zor olmaktadır. Bu nedenle bu proje seçilirken, rüzgar enerjisinin kentsel alandan çok kırsal alanda kullanılmaya teşvik edilmesi istenmiştir. Tarımköy yerleşkesi seçilirken az katlı konutlar olmasına dikkat edilmiş, her bina birbirinin rüzgarını kesmeyecek durumda bulunduğu varsayılmış, konutların hakim rüzgara göre yönlendirildiği öngörülmüştür.

Ayrıca enerji etkin önlemlerin küçük ölçekli, maliyeti düşük binalarda uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve bu değerlendirmenin de diğer binalara örnek teşkil ederek rüzgar enerjisinden yararlanma konusuna ışık tutabilmesi hedeflenmiştir.

Uygulama çalışmasında referans bina olarak belirlenen Muğla Tarımköy konutunun, farklı rüzgar bölgelerinde kırsal alanlarda bulunduğu varsayılmış, referans bina ve oluşturulan alternatiflerin yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma yükleri ve toplam enerji yükleri enerji simülasyon programı aracılığı ile sayısal karşılaştırmalar yoluyla saptanmıştır. 4 farklı iklim bölgesinden seçilen bu alanlarda rüzgardan üretilecek enerji de hesaplanmış, rüzgardan üretilen enerji ile her bölgenin enerji giderlerinin ne kadarının rüzgardan karşılandığı bulunmuştur. Ayrıca, rüzgar türbininin farklı güce ve farklı yüksekliğe sahip olduğu alternatifleri ile de bu değerlendirmeler yapılmış, rüzgar enerjisine etki eden parametreler değerlendirilmiştir.

Rüzgar türbini, 1. ve 2. bölgelerde ısıtma, soğutma ve aydınlatmanın tamamına yetecek miktarda enerji üretmiş, bu bölgelerde ürettiği enerjinin kalan kısmı da diğer yüklerin karşılanmasında kullanılmıştır. 3. bölgede üretilen enerji ile ısıtma, soğutma ve aydınlatmanın %80'i karşılanmakta, 4. bölgede ise üretilen enerji, ısıtma,soğutma ve aydınlatma için tüketilen enerjinin %10'unu ancak karşılayabilmektedir. Rüzgardan üretilen enerjinin yetmediği durumlarda kalan tüketim ihtiyacının şebekeden karşılanması beklenmektedir. Farklı aylarda ve farklı rüzgar hızlarında üretilen enerjinin miktarı da değişeceğinden bu konutlarda kullanılan türbinlerin şebeke bağlantılı sistemler olması tercih edilmiştir. Bu sistemler ile türbinin ürettiği elektriğin ihtiyaçtan fazlasını şebekeye vererek kullanıcıya ek bir getiri sağlaması istenmektedir.

Tüm bu parametreler değerlendirildikten sonra belirlenen alternatifler kombinasyonu arasından en uygun olanın seçilmesi için bu çalışmada incelenmeyen maliyet faktörünün de ele alınması gerekmektedir. Rüzgar türbininin maliyetinin hesaplanmadığı bu çalışmada, seçilen türbin özelliklerine göre bir değerlendirme yapılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda, rüzgar türbini kurmadan önce tasarımcının, rüzgar hızına ve arazi özelliklerine dair bir fizibilite çalışması yapması, tüm bunlar göz önünde bulundurularak rüzgar türbininin verimli olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada belirlenen rüzgar hızları REPA'dan alınmıştır. Ancak, rüzgar hızının çok değişken bir parametre olduğu , aynı yörede 100 m mesafede dahi rüzgar potansiyelinin değişkenliği ve uzun ölçümler, fizibiliteler sonucunda ancak rüzgar hızına ait doğru verilere ulaşılacağı, asla göz ardı edilmemesi gereken bir konudur. Bu nedenle bu araştırmada ortaya konulan sonuçlar bir ön değerlendirme olarak kabul edilebilir.

Tasarımcı ve üretici tarafından yapılacak doğru bir fizibilitenin ve ölçümün ardından kurulan sistem, süreç içerisinde çevresel ve ekonomik kazanımlar bakımından çok yüksek oranlarda yarar sağlar. Bu aşamada rüzgar enerji sektöründeki uzmanlar kadar, kullanıcılar da bilinçlenmeli ve enerji etkinliği sağlama çalışmaları ve binalarda yenilenebilir enerji kullanımı için teşvik politikaları devlet tarafından oluşturulmalıdır. Rüzgar enerjisi ülkemiz için kolay elde edilebilen enerji türü olduğundan, kullanımına ilişkin teşviklerin arttırılması, tükenmekte olan enerji kaynakları yerine rüzgar enerjisinin kullanılması enerji etkin ve sürdürülebilir bina çevrelerinin oluşturulmasına ve ülke enerji ekonomisine, katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aktacir, M. A., Yeşilata, B. ve Işıker, Y., 2008**.** Fotovoltaik-Rüzgar Hibrid Güç Sistemi Uygulaması, Yeni Enerji Dergisi, Yıl 2008, Cilt 3, No 1.

Ata, R. ve Çetin, N, S., 2008**.** 3 kW Otonom Bir Rüzgar Türbini Kurulumu ve Enerji Eldesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi Yıl 2008, Cilt 23, No 1, Ankara.

Ataseven, M. S., 2012. Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu**,** TÜREB, Cilt 1.

Aydınoz, A., 2012. Lisanssız Elektrik Üretimi Mevzuata Bakışı, İstanbul Sanayi Odası , İstanbul.

AWEA, 2008. In the Public Interest How and Why to Permit for Small Wind Systems Report, Washington..

AWEA, 2011. U.S Small Wind Market Report 2011, Washington.

Bayrakçı, C. H. ve Delikanlı K., 2007. Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Potansiyel Belirleme Çalışmaları. Mühendis ve Makina Dergisi, No 48(569), Sayfa 78-80.

Celayir, N., 2008. Rüzgar Enerjisinin Dünyadaki Gelişimi ve Türkiye'deki Potansiyeli*,* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Durak, M., ve Özer, S., 2008. Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama, Ankara.

Emniyetli, G., 2007. Evsel Elektrik İhtiyacının Karşılanması için Rüzgar Türbini Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

Erdoğan, K., 2010. Güneş(Fotovoltaik) ve/veya Rüzgar Enerjisi Destekli Hibrit Isı Pompası Sisteminin Dinamik Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Erkınay, P. U., 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Rüzgar Enerjisinin Türkiye'de Kullanımı Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Gipe, P., 2009. Wind Energy Basics*,* Chelsea Green Publishing Company Yayınları, Vermont.

Günel, H.M. ve Ilgın, E., 2007. The Role of Aerodynamic Modifications in the form of Tall Buildings Againist Wind Excitation METU JFA, Cilt 24, No 2, Ankara.

Günel, H.M., Ilgın, E. ve Sorguç, A.G., 2007. Rüzgar Enerjisi ve Bina Tasarımı. ODTU Mimarlık Fakültesi Yayınları, Ankara.

GWEC, 2013. Global Wind Statistics 2012, Brussels, Belgium.

Hayli, S., 2001. Rüzgar Enerjisinin Önemi Dünyada ve Türkiye'deki Durumu, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, Cilt 11, No 1, Elazığ.

Kıyak, İ., Oral, B. ve Topuz, V., 2009. Yerleşim Bölgelerinde Rüzgar Enerjisi Kullanımının Yaygınlaştırılması: Bina Montajlı Rüzgar Türbinleri, Türkiye 11. Enerji Kongresi, İzmir.

Mangan, S. D., 2006. Akıllı Binalarda Alt Sistem Değerlendirmesi:İstanbul Örneği,

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Mehel, N., 2009. Dünyada ve Türkiye'de Rüzgar Enerjisi: Potansiyeli, Kullanımı ve Almanya- Türkiye Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.

Ok, V., 2008. Sağlıklı Kentler için Pasif İklimlendirme ve Bina Aeorodinamiği, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 2008, İzmir.

Oral, G.K., 2010. Enerji Verimli ve Çevre Dostu Konutlar.

Özdemir, B.B., 2005. Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Renewable UK, 2010. Small Wind Systems UK Market Report, 2010, London.

Sezgin, F., 2005. Pasif Akıllı Büro Binalarında Enerji Bakımından Tasarım Ölçütleri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Isparta.

Stankovic, S. ve Campbell, N., 2009. Urban Wind Energy.

Şen, Z., 2009. Temiz Enerji Kaynakları ve Modelleme İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, Cilt 1.

Temiz Enerji Vakfı , 2001**.** Rüzgar Enerjisi, Ankara.

Tosun, S., 2010. Bütünleşik Mimarlık Sistemleri Rüzgar Türbinlerinin Yüksek Binalar ile Bütünleşik Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

T.C Enerji ve Tabii KaynaklarBakanlığı, 2012. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümü, Ankara.

Uçar, S., 2007. Rüzgar enerjisiyle Elektrik Üretimi ve Kayseri İli için Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Uğurel, A., 2000. Rüzgar ve Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi ve Türkiye İçin Önemi, III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2000 15-17 Kasım 2000, İstanbul.

Vardar, A., Eker, B. ve Durgut, M.R., 2005. Rüzgar Enerjisi Açısından Trakya Yöresi Yüzey Pürüzlülük Haritası, 3e Electrotech Dergisi, Cilt 3, No l.

Vardar , A. ve Eker, B., 2009. Marmara Bölgesi Rüzgar Potansiyeli, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü, Edirne.

Vardar, A., 2012. Rüzgar Enerjisi ve Teknolojisi 1 Ders Notları.

Yalçın, Y., 2010. İstanbul Terkos Bölgesi'nde Kurulması Planlanan Bir Rüzgar Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Potansiyeli, Kurulum Maliyeti ve Geri Ödeme Süresinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Yüksek, İ. ve Esin, T., 2011. Yapılarda Enerji Etkinliği Bağlamında Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Önemi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, No 125, Cilt 6.

6094 Sayılı Kanun, 2010. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretme Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.

Url-1 < http://www.energy.gov.tr >, alındığı tarih 10.10.2012.

Url-2 < http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/ruzgar/ruzgar_en_hak.html

>, alındığı tarih 14.02.2013.

Url-3 < http://www.mgm.gov.tr/arastirma/yenilenebilir-enerji.aspx?s=ruzgaratlasi>, alındığı tarih 26.12.2011.

Url-4 < http://milres.org.tr/policy>, alındığı tarih 26.04.2013.

Url-5 < http:// www.egedenenerji.com/ruzgar_santral_kurulumu.php >, alındığı tarih 20.07.2012.

Url-6 < http:// www.lisanssizelektrik.org>, alındığı tarih 1.5.2013.

Url-7 < http://www. wind-power-program.com/Library/Turby-EN-Application-V3.0.pdf >, alındığı tarih 12.8.2012.

Url-8 < http://www.wbdg.org/resources/env_wind.php >, alındığı tarih 17.10.2012.

Url-9 < http://www.carbontrust.com/media/77248/ctc738_pdf >, alındığı tarih 17.10.2012.

Url-10 < http:// www.wind.psu.edu/buildings/ >, alındığı tarih 17.03.2013.

Url-11 < http://inhabitat.com/venger-wind-unveils-worlds-largest-rooftop-wind-farm-in-oklahoma-city/>, alındığı tarih 14.04.2013.

Url-12 < http://www.eseryesilbina.com/home.tr.php >, alındığı tarih 12.10.2012.

Url-13 < http://www. www.genba.com.tr >, alındığı tarih 18.10.2012.

Url-14 < http://www.pallasenerji.com/haberler>, alındığı tarih 12.02.2013.

Url-15 < http://www.ardenerji.com/ urunler_detail.asp?id=3.>, alındığı tarih 12.04.2013.

Url-16 < http://www. windpoweringamerica.gov/>, alındığı tarih 4.10.2012.

Url-17 < http://www.windenergy.com>, alındığı tarih 4.8.2012.

Url-18 < http://designbuilder.co.uk/, Designbuilder Resmi Sitesi, 21.21.2012.

EKLER

EK A: Bina Enerji Simülasyon Programı Designbuilder

EK B: Small wind economic model adlı excell programı

EK A BİNA ENERJİ SİMÜLASYON PROGRAMI DESIGN BUILDER

Bina simülasyon programlarından biri olan Designbuilder programı, Energy Plus programının bir arayüzü olarak çalışmaktadır. Program yapının 3 boyutlu olarak modellenebilmesine olanak sağlamaktadır. Sahip olduğu geniş yapı malzemesi ve bileşen veritabanı ile kullanıcıya kolaylık kazandırmaktadır .

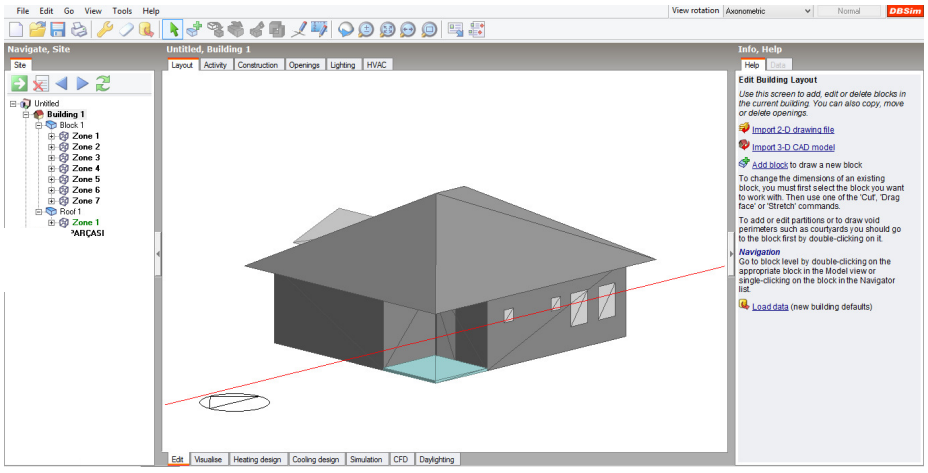
Energy Plus programı, proje aşamasındaki binaların veya mevcut binaların saatlik, günlük, aylık ve yıllık zaman dilimlerinde ısıtma, soğutma ve havalandırma yüklerinden kaynaklanan enerji tüketimlerini, dinamik olarak hesaplayan bir simülasyon programıdır.

Aşağıdaki adımlar sırasıyla takip edilerek bina simulasyonu yapılmıştır.

1. Genel Proje Bilgileri

Model geometrisini oluşturmadan önce proje ile ilgili genel bilgiler belirtilmelidir. Projenin ismi, binanın türü, kullanım tipi ve binanın inşa edileceği yer ile ilgili bilgiler girilmelidir. Buna bağlı olarak bölgenin hava dosyaları (*.iwec) modelleme dosyasına yüklenir. İlk olarak aydınlatma miktarı, strüktür sistemi, doğal havalandırma, ısıtma ve soğutma türleri ile ilgili bilgiler genel olarak belirtilir. Sonraki aşamalarda bütün yapı elemanları ve hacimler ile ilgili detaylar ve alternatifler oluşturulur.

2. Model Geometrisinin Oluşturulması

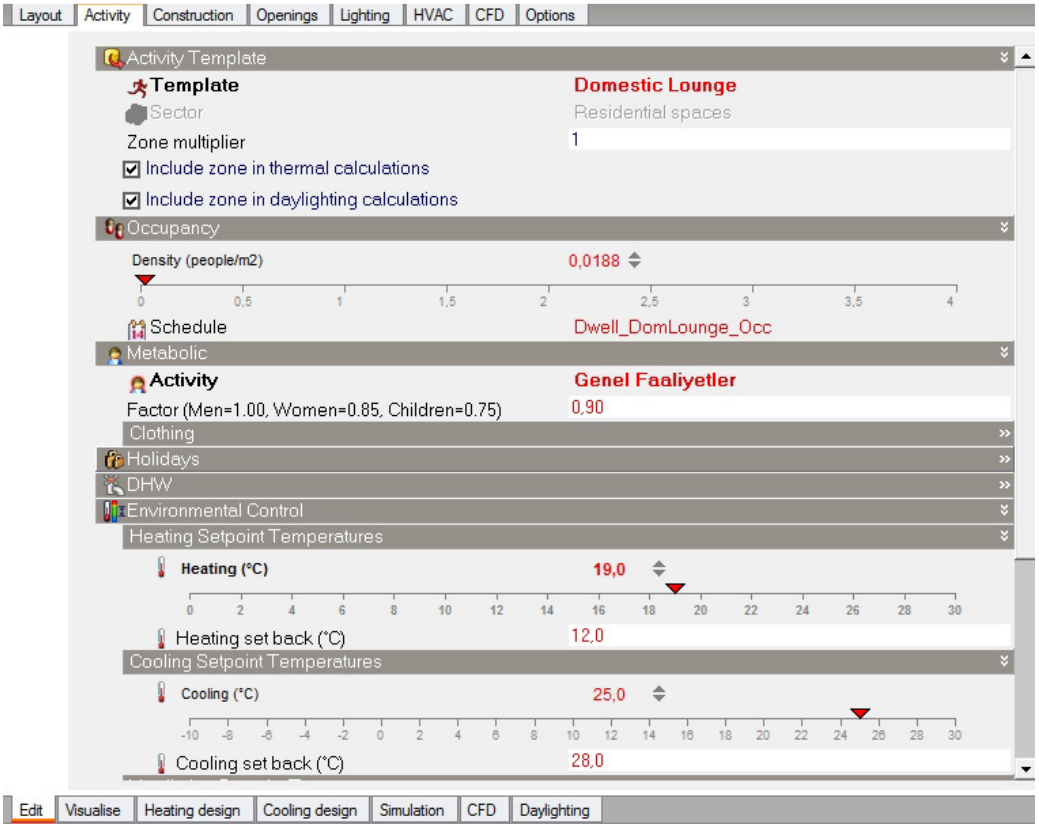


Şekil A.1 : Model geometrisinin oluşturulması.

Designbuilder programı AutoCAD (*.dxf) ile hazırlanmış iki boyutlu çizimlerin programın kendi bünyesine aktarılmasını mümkün kılmaktadır. İki boyutlu planlarlardan yararlanılarak bina formu, binanın kat yüksekliği, duvar kalınlığı, saçak genişliği, çatı tip gibi binaya ilişkin parametreler girilerek binanın 3 boyutlu modeli oluşturulmaktadır.

3. Bina için fonksiyon belirlenmesi, ısıl zonların oluşturulması

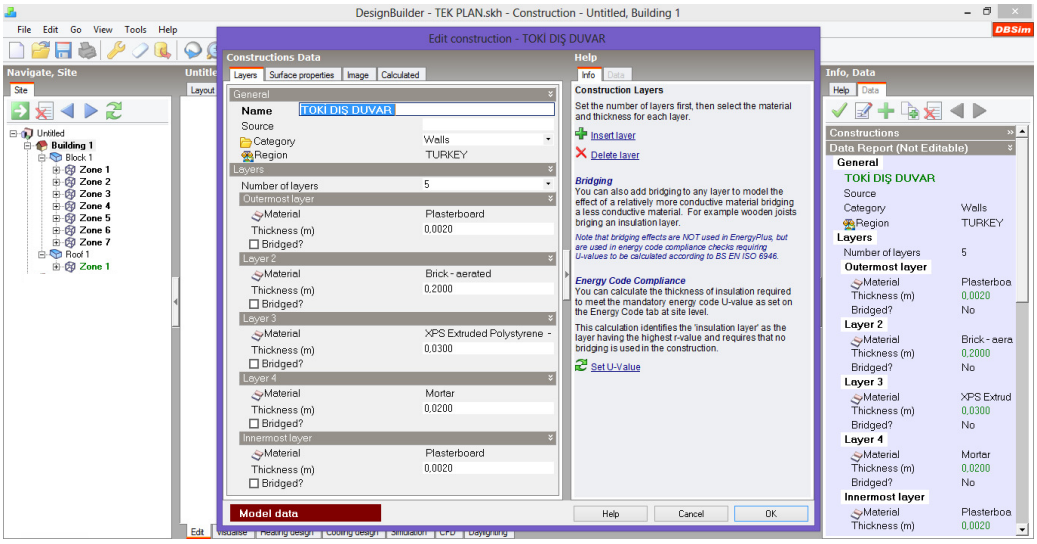
Model geometrisi oluşturulduktan sonra iç duvarların çizilmesiyle hacimler oluşturulmuştur. Her bir hacim farklı ısıl zonları oluşturmaktadır. Isıl zonlara kullanıcı fonksiyonlarının tanımlaması yapılarak; mekanı kullanan insan sayısı, kullanıcıların aktivitelerine bağlı olarak iç kazanç değeri, iç mekan konfor sıcaklıkları verileri programa girilmiştir. Program bu girilen değerlere ve hacme göre standartlara bağlı kalarak değerleri belirlemektedir.



Şekil A.2 : Isıl zonlar için fonksiyon tanımlanması.

4. Bina Kabuğunun ve Malzeme Bilgilerinin Tanımlanması, U değerinin Belirlenmesi

Bina kabuk detayıyla ilgili olarak programın malzeme kütüphanesinde mevcut geniş bir malzeme veritabanı bulunmaktadır. Kütüphane bünyesinde bulunmayan malzemeler için, malzemenin U değeri programa tanıtılıp, malzeme bina kabuğuna eklenebilmektedir. Eğer kütüphane bünyesinde isteğe uygun bir malzeme mevcut değilse, istenilen malzemenin özellikleri programa tanıtılıp kütüphaneye eklenmesi mümkündür. Bina kabuğunun her birine ait katmanların sayısı belirtilip, malzemeler kütüphaneden seçilmiş, kalınlıkları ise TOKİ projesinde belirtildiği gibi girilmiştir.



Şekil A.3 : Bina Kabuğunun ve Malzeme Bilgilerinin tanımlanması, U degerinin belirlenmesi.

5. Açıklıkların Belirlenmesi ve Malzeme Bilgilerinin Tanımlanması

Pencereler oluşturulurken iki seçenek bulunmaktadır. İlk seçenek pencere alanının bütün cepheye oranının belirlenmesidir. İkinci bir seçenek ise iki boyutlu çizimlerden yararlanarak pencerenin gerçek konumu referans alınarak tam ölçüleriyle oluşturulmasıdır. Bu projede her cephedeki pencere oranı eşit olmadığından, pencereler kendi boyutunda gerçek konumunda çizilmişlerdir.

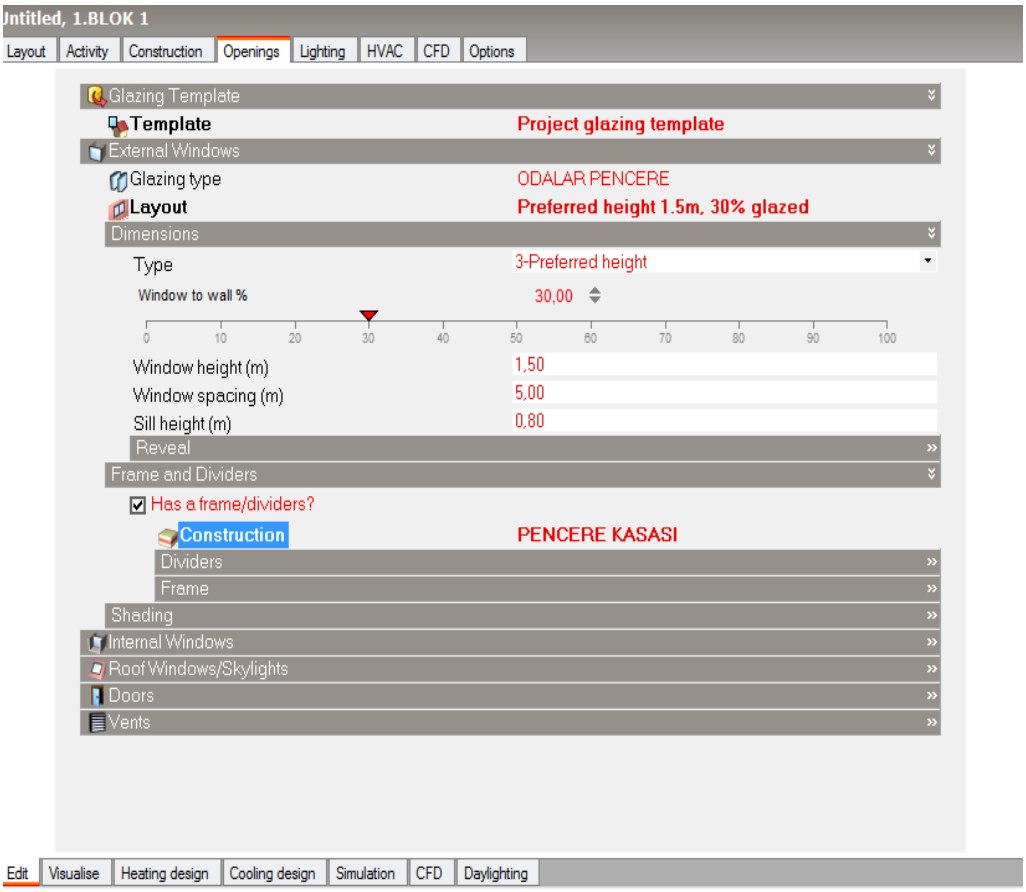
Cam türünün belirlenmesi. (Programın kendi kütüphanesinden cam tipleri belirlenebilmektedir. İstenildiği takdirde termofiziksel ve optik özellikleri ile ilgili

değerler girilip yeni cam tipleri oluşturulabilmektedir.) TOKİ referans projede belirlenen cam türü seçilmiştir.

Çerçeve türünün belirlenmesi. (Çerçevenin dikey ve yatay bölücü adedi ve kasa boyutları belirtilebilmektedir.)

Kapılar oluşturulurken kasa ve kanatların türü ve boyutları belirtilmelidir.

Doğal havalandırmanın sağlanması için, kullanıcı fonksiyonu türü, pencerelerin açık veya kapalı durumda olduğu zaman dilimlerini belirlemektedir.



Şekil A.4 : Açıklıkların belirlenmesi ve malzeme bilgilerinin tanımlanması.

6. Aydınlatma Sistemlerinin Belirlenmesi

Yapay aydınlatma için metrekare başına düşen watt miktarı belirtilmelidir. Yapay aydınlatmanın istendiği saat aralıkları için program oluşturulmakta ve aydınlatma kontrolü uygulanmaktadır.

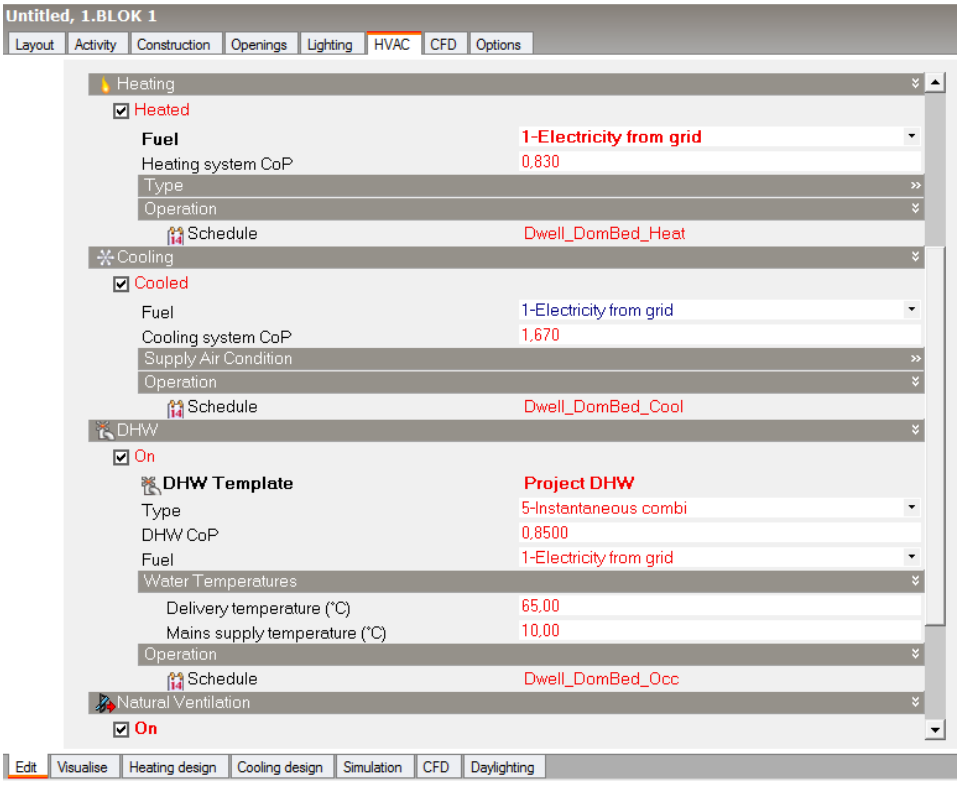
7. Mekanik Sistemlerinin (HVAC) Belirlenmesi

Programda ısıtma, soğutma ve sıcak su sistemleri için kullanılan yakıt türünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu projede rüzgardan elektrik enerjisi elde edileceği varsayıldığından, tüm sistemlerde elektrik kullanıldığı bilgisi programa veri olarak girilmiştir.

Doğal havalandırma için minimum hava akış miktarı belirtilmelidir.

Doğal havalandırmaya ek olarak mekanik havalandırma sistemi varsa belirtilmelidir.

Tüm bu sistemlerde kullanım türü ve kullanım süresi belirtilmelidir. Girilen verilerin aksi belirtilmedikçe tüm sistem değerleri ASHRAE 90.1 ile uyumludur.

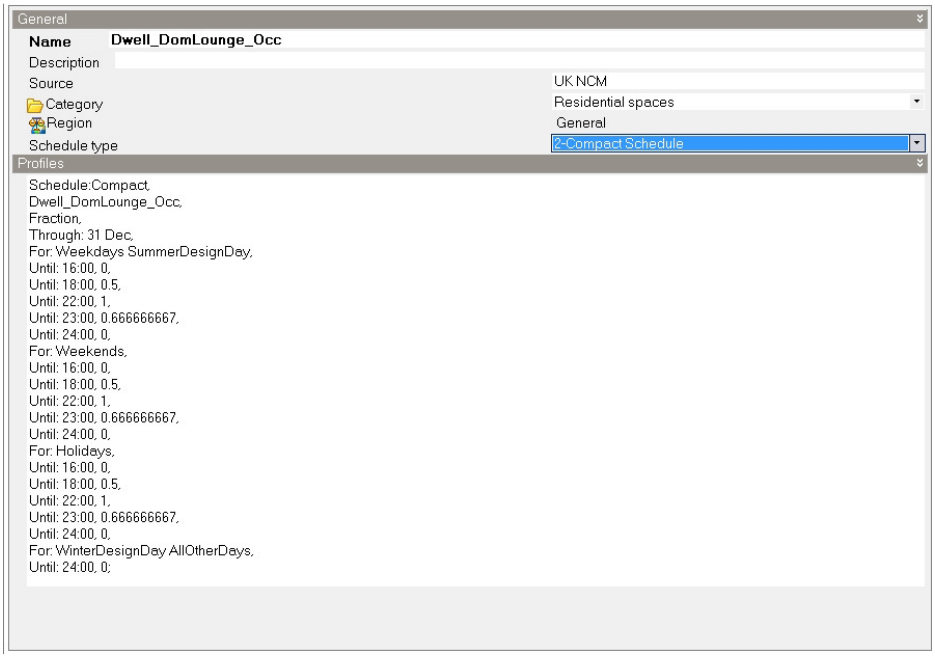


Şekil A.5 : Mekanik sitemlerin belirlenmesi.

8. Kullanım Dönem ve Saatlerinin Belirlenmesi

Kullanım saat ve dönemleri ile ilgili olarak Designbuilder programının kendi veritabanı bulunmaktadır. Binanın fonksiyonuna göre kullanım tipi ve kullanım

saatleri belirlenmektedir. Aksi istendiği takdirde kullanımın istendiği veya istenmediği zaman aralıkları oluşturulabilir ve kütüphane bünyesine eklenebilir.



Şekil A.6 : Kullanım dönem ve saatlerinin programda belirlenmesi.

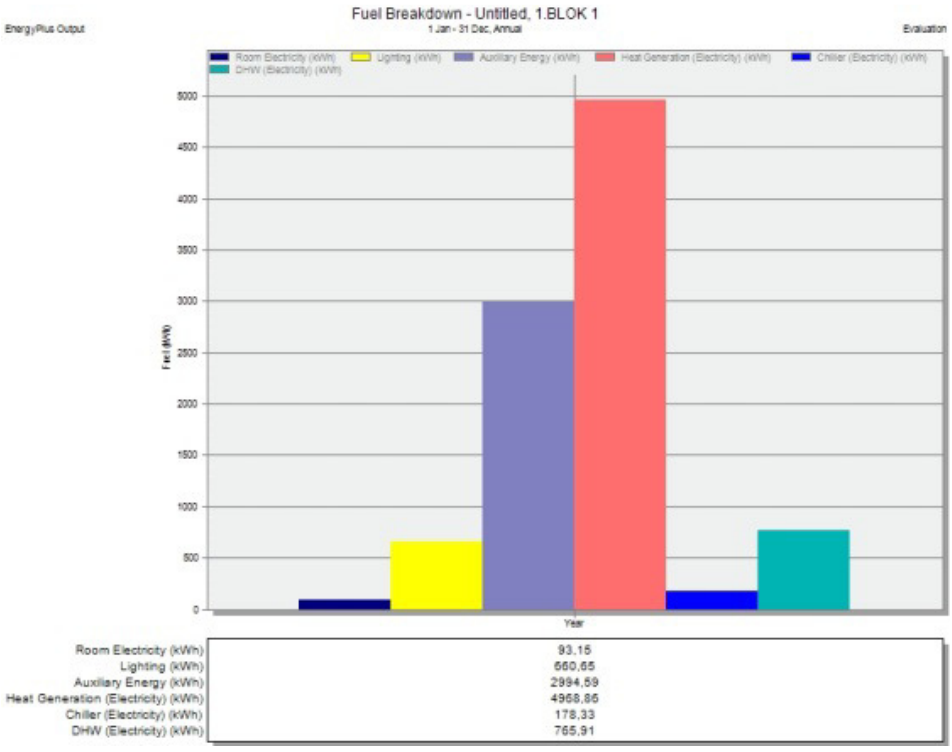
9. Simülasyonların Uygulanması ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Modeli oluşturulmuş ve tüm verileri girilmiş olan binanın farklı durumlardaki simülasyonları yapılabilmektedir. Binanın simülasyon yapmadan önce malzemeleri ile birlikte 3 boyutlu görüntüsünün görülmesi mümkündür.

Simülasyon yapılırken binanın etrafındaki binaların gölgelerinden etkileneceği de belirtilmiştir.

Simulasyonun yapılacağı gün aralıkları belirtilebilmektedir. Yıllık, aylık, günlük ve saatlik raporlar şeklinde çeşitli grafiklere aktarılmaktadır.

Elde edilen simülasyon sonuçlarında , iç kazançlar, her bir sistem için ne kadar enerji harcanacağı, aylık yıllık ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji giderleri, yıllık toplam enerji giderleri ve yıllık salacağı karbon emisyonu gibi farklı değerlere ulaşılabilmektedir.



Şekil A.7 : Simülasyon sonucunda her bir sistem için elde edilen toplam yakıt tüketimleri grafiği.

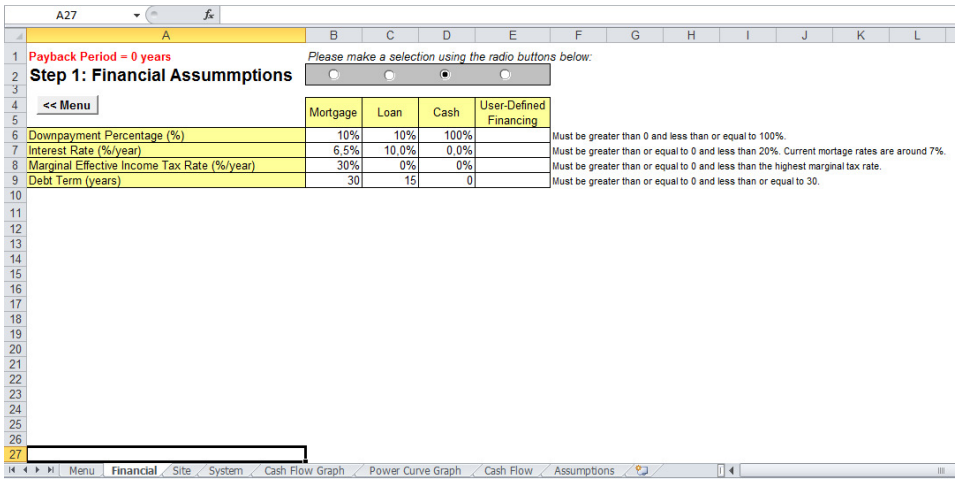
EK B SMALL WIND ECONOMIC MODEL ADLI EXCEL PROGRAMI

Amerikan Enerji departmanının yayınladığı " Small Wind Economic Model" adlı küçük ölçekli rüzgar enerjisinin ölçüldüğü excel programı, belirtilen bir rüzgar türbininden yıllık üretilecek enerjiyi ve bu türbinin kendini amorti etme süresini veren bir programdır. Program üç adımdan oluşmaktadır.

- Finansal varsayımlar
- Arazi özellikleri
- Sistem özellikleri (türbin özellikleri)

Bu üç adımda istenen veriler tek tek girildikten sonra, türbinin yıllık ürettiği enerji miktarı ve maliyet hesaplamaları kullanıcılara verilmektedir.

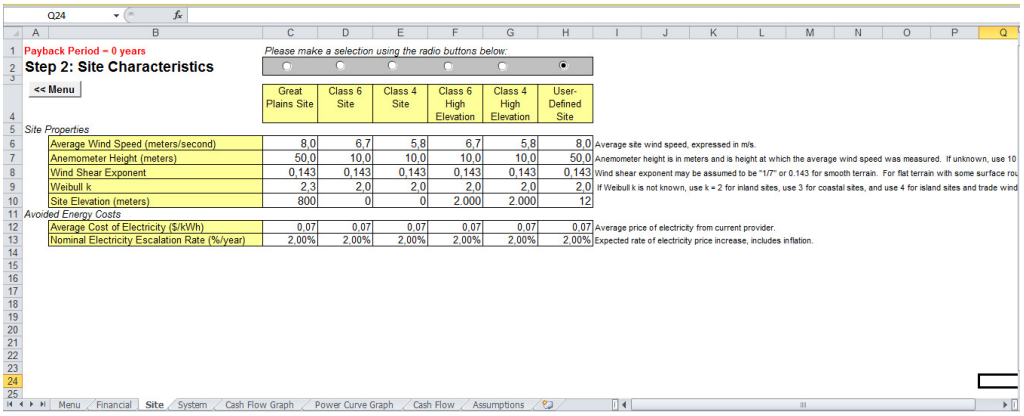
İlk adımda türbine ait ödeme seçenekleri verilmiş, verilen 3 seçenekten birinin seçilmesi istenmiş, verilen seçeneklerin türbinin ödeme seçeneğine uygun olmaması durumunda ise kullanıcının kendine ait bir ödeme seçeneği belirlemesine olanak verilmiştir.



Şekil B.1 : Türbin kurmadan önce verilecek teşviklerin seçilmesi ve türbinin ödeme seçeneklerinin belirlenmesi.

Arazi özelliklerinin belirlendiği ikinci adımda ise türbinin monte edileceği alanın ortalama rüzgar hızı, türbin ölçüm cihazının yüksekliği, pürüzlülük uzunluğu,

weibull parametresi, ülkedeki elektriğin birim maliyeti ve elektrik fiyatındaki yıllık enflasyon oranı ile ilgili veriler programa girilmektedir.

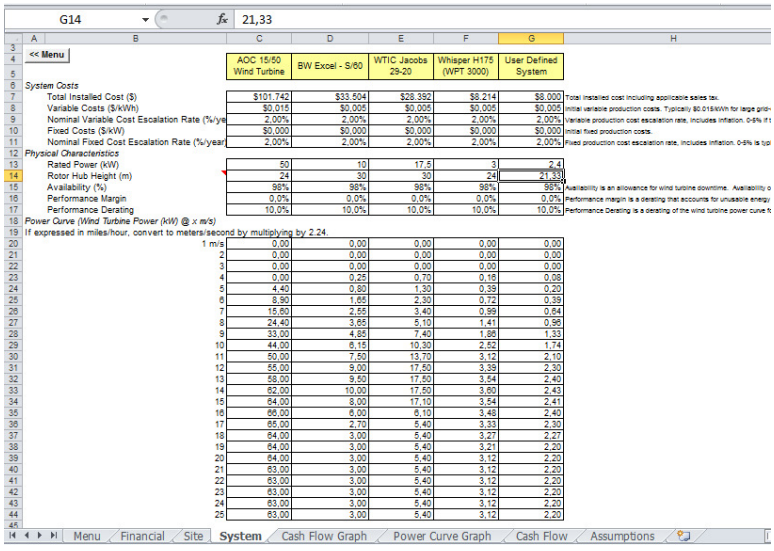


Payback Period = 0 years							
Step 2: Site Characteristics							
<< Menu		Great Plains Site	Class 6 Site	Class 4 Site	Class 6 High Elevation	Class 4 High Elevation	User-Defined Site
Site Properties							
	Average Wind Speed (meters/second)	8,0	6,7	5,8	6,7	5,8	8,0
	Anemometer Height (meters)	50,0	10,0	10,0	10,0	10,0	50,0
	Wind Shear Exponent	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
	Weibull k	2,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Site Elevation (meters)	800	0	0	2.000	2.000	12
Avoided Energy Costs							
	Average Cost of Electricity ($/kWh)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	Nominal Electricity Escalation Rate (%/year)	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%

Şekil B.2 : Türbinin yerleştirileceği arazinin özelliklerinin programa girilmesi.

Bir sonraki adımda ise türbinin maliyetine ve gücüne ilişkin veriler programa veri olarak işlenmektedir. Türbinin toplam maliyetleri, ekstra maliyetler, türbin tamir maliyeti gibi sisteme ait maliyetler girildikten sonra, türbin gücü, rotor yüksekliği de programa veri olarak girilmektedir.

Sisteme girilecek verilerin son aşaması ise gücü girilen türbine ait türbin gücü eğrisini oluşturan değerleri girmektir.

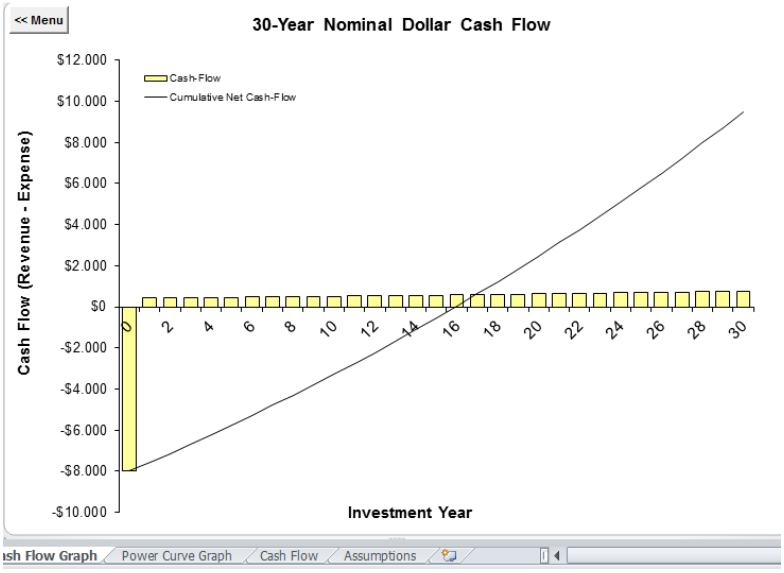


<< Menu		AOC 15/50 Wind Turbine	BW Excel - S/60	WTIC Jacobs 29-20	Whisper H175 (WPT 3000)	User Defined System
System Costs						
	Total Installed Cost ($)	$101.742	$33.504	$28.392	$8.214	$8.000
	Variable Costs ($/kWh)	$0,015	$0,005	$0,005	$0,005	$0,005
	Nominal Variable Cost Escalation Rate (%/ye	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
	Fixed Costs ($/kW)	$0,000	$0,000	$0,000	$0,000	$0,000
	Nominal Fixed Cost Escalation Rate (%/year	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%
Physical Characteristics						
	Rated Power (kW)	50	10	17,5	3	2,4
	Rotor Hub Height (m)	24	30	30	24	21,33
	Availability (%)	98%	98%	98%	98%	98%
	Performance Margin	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Performance Derating	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Power Curve (Wind Turbine Power (kW) @ x m/s)						
If expressed in miles/hour, convert to meters/second by multiplying by 2.24.						
	1 m/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,00	0,25	0,70	0,16	0,08
	5	4,40	0,80	1,30	0,39	0,20
	6	8,90	1,65	2,30	0,72	0,39
	7	15,60	2,55	3,40	0,99	0,64
	8	24,40	3,65	5,10	1,41	0,96
	9	33,00	4,65	7,40	1,86	1,33
	10	44,00	6,15	10,30	2,62	1,74
	11	50,00	7,50	13,70	3,12	2,10
	12	55,00	9,00	17,50	3,39	2,30
	13	58,00	9,60	17,50	3,54	2,40
	14	62,00	10,00	17,50	3,60	2,43
	15	64,00	8,00	17,10	3,54	2,41
	16	66,00	6,00	6,10	3,48	2,40
	17	66,00	2,70	5,40	3,33	2,30
	18	64,00	3,00	5,40	3,27	2,27
	19	64,00	3,00	5,40	3,21	2,20
	20	64,00	3,00	5,40	3,12	2,20
	21	63,00	3,00	5,40	3,12	2,20
	22	63,00	3,00	5,40	3,12	2,20
	23	63,00	3,00	5,40	3,12	2,20
	24	63,00	3,00	5,40	3,12	2,20
	25	63,00	3,00	5,40	3,12	2,20

Şekil B.3 : Türbinin sistem maliyetleri ve gücüne ilişkin verilerin programa girilmesi.

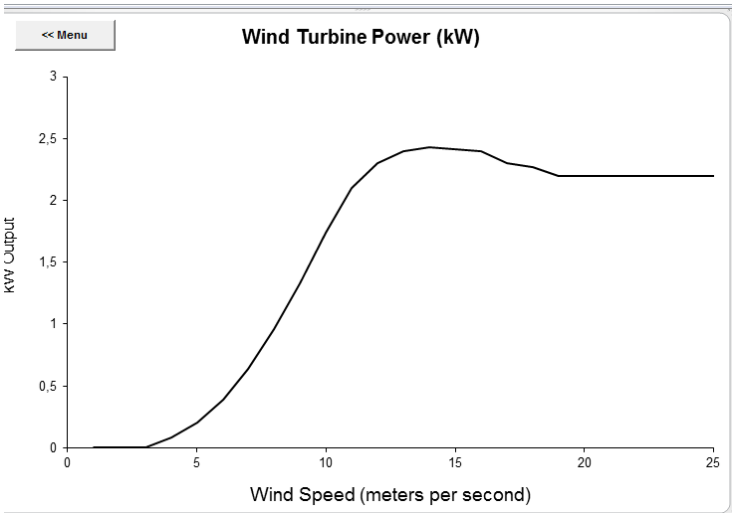
Tüm bu veriler girildikten sonra türbinin 30 yıllık nakit akış grafiği program tarafından oluşturulmaktadır.

TOKİ projesinde kullanılacak olan türbinin maliyeti tez çalışmasında belirlenmediğinden nakit akış grafiği incelenmemektedir.



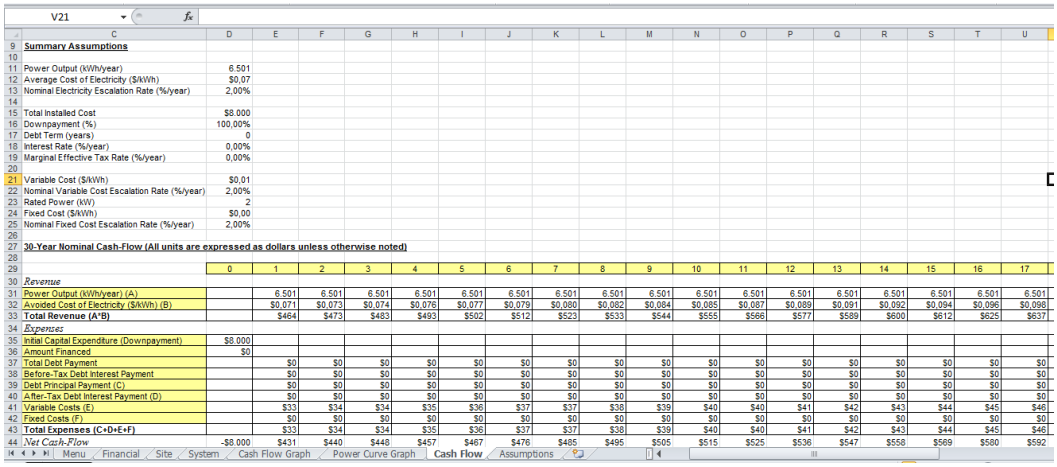
Şekil B.4 : Türbinin 30 yıllık nakit akış grafiği.

Bir önceki adımda türbinin gücünü oluşturan değerler girildikten sonra türbin gücü eğrisi program tarafından oluşturulmuştur.



Şekil B.5 : Türbin gücü eğrisi.

Son adımda ise özellikleri girilen türbinin belirtilen rüzgar hızında üreteceği yıllık enerji miktarı verilmekte, programa girilen tüm verilerin, özeti bulunmaktadır. Üretilen enerjinin dolar cinsinden yıllık getireceği gelir verilmekte, bu gelirlerin çarpımıyla türbinin amortisman süresi belirtilmektedir. Uygulaması yapılan TOKİ projesinde türbinin maliyeti belirlenmediğinden, sadece türbinin yıllık üreteceği enerji miktarı verisi kullanılmıştır.



	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
9	**Summary Assumptions**																		
10																			
11	Power Output (kWh/year)	6.501																	
12	Average Cost of Electricity ($/kWh)	$0,07																	
13	Nominal Electricity Escalation Rate (%/year)	2,00%																	
14																			
15	Total Installed Cost	$8.000																	
16	Downpayment (%)	100,00%																	
17	Debt Term (years)	0																	
18	Interest Rate (%/year)	0,00%																	
19	Marginal Effective Tax Rate (%/year)	0,00%																	
20																			
21	Variable Cost ($/kWh)	$0,01																	
22	Nominal Variable Cost Escalation Rate (%/year)	2,00%																	
23	Rated Power (kW)	2																	
24	Fixed Cost ($/kWh)	$0,00																	
25	Nominal Fixed Cost Escalation Rate (%/year)	2,00%																	
26																			
27	**30-Year Nominal Cash-Flow (All units are expressed as dollars unless otherwise noted)**																		
28																			
29		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
30	*Revenue*																		
31	Power Output (kWh/year) (A)		6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501	6.501
32	Avoided Cost of Electricity ($/kWh) (B)		$0,071	$0,073	$0,074	$0,076	$0,077	$0,079	$0,080	$0,082	$0,084	$0,085	$0,087	$0,089	$0,091	$0,092	$0,094	$0,096	$0,098
33	**Total Revenue (A*B)**		$464	$473	$483	$493	$502	$512	$523	$533	$544	$555	$566	$577	$589	$600	$612	$625	$637
34	*Expenses*																		
35	Initial Capital Expenditure (Downpayment)	$8.000																	
36	Amount Financed	$0																	
37	Total Debt Payment		$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
38	Before-Tax Debt Interest Payment		$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
39	Debt Principal Payment (C)		$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
40	After-Tax Debt Interest Payment (D)		$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
41	Variable Costs (E)		$33	$34	$34	$35	$36	$37	$37	$38	$39	$40	$40	$41	$42	$43	$44	$45	$46
42	Fixed Costs (F)		$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0	$0
43	**Total Expenses (C+D+E+F)**		$33	$34	$34	$35	$36	$37	$37	$38	$39	$40	$40	$41	$42	$43	$44	$45	$46
44	*Net Cash-Flow*	-$8.000	$431	$440	$448	$457	$467	$476	$485	$495	$505	$515	$525	$536	$547	$558	$569	$580	$592

Menu | Financial | Site | System | Cash Flow Graph | Power Curve Graph | Cash Flow | Assumptions

Şekil B.6 : Türbinin yıllık üreteceği enerji miktarının verilmesi, türbinin amortisman süresinin ve getireceği gelirin belirlenmesi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayşe Bektaş

Doğum Yeri ve Tarihi: Denizli, 1987

Adres: Didim/Aydın

E-Posta: aysebektas87@hotmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi - 2005-2010

Mesleki Deneyim: Pamukkale Mühendislik, Mimarlık / Didim / AYDIN– (2010-)