

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINDAN RÜZGÂR TÜRİNLERİNİN DAVRANIŞLARININ DEPREM ETKİSİ ALTINDA İNCELENMESİ

K. Armağan KORKMAZ*, **A. Işıl ÇARHOĞLU***, **M. Emin KURAL****

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, dalga enerjisi, ısı enerjisi gibi enerjilerle tanımlanabilir. Son yıllarda önem kazanmakta olan sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı her ülke için farklılık içermektedir. Örneğin Türkiye gibi önemli depremler atlatmış bir ülke için sürdürülebilir enerji kaynaklarının aynı zamanda depremde hasar almaması önem taşımaktadır. Sürdürülebilir enerji kaynakları içinde rüzgâr türbini elektrik enerjisi üretmede kullanılmaktadır. Yükseklik arttıkça rüzgârdan daha fazla enerji elde edildiği için rüzgâr türbinin yüksek bir kule üzerine kurulması gereklidir. Bu çalışmada sürdürülebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisine ağırlık verilerek bir rüzgâr türbininin kurulduğu çelik kule modellenmiştir. Çelik kule üç boyutlu olarak modellenerek yüklemeler eksenel ve diyagonal olarak uygulanmıştır. Eksenel ve diyagonal sonuç verileri karşılaştırılarak, uygun görülen değerler seçilmiş ve profil kesitleri hesaplanmıştır. Ardından çelik kulenin doğrusal olmayan davranışını incelemek için doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ve altı farklı deprem kaydı kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizler yapılmıştır. Böylece, çelik kule üzerine oturan rüzgâr türbinlerinin deprem davranışları değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Çelik kule, rüzgâr türbini, statik artımsal itme analizi, zaman tanım alanında dinamik analiz,*

INVESTIGATION OF STRUCTURAL BEHAVIOR OF WIND TRIBUNES AS A SUSTAINABLE ENERGY SOURCE UNDER EARTHQUAKE EFFECT

ABSTRACT

Sustainable and renewable energy sources are mainly represented by wind, sun, wave and heat energies. In recent years, sustainable energy becomes very important however applications of the sources are different for every country. For instant, for Turkey such a earthquake prone country, earthquake resistance is one of the critical concern for the long term sustainable production. Wind tribunes are working as one of the important sustainable energy source. Since energy potential is increasing with the height, wind tribunes are located on top of the steel towers. In the current research work, considering wind energy, wind tribune steel tower is modeled in 3-D modeling. Loading is applied in axial and diagonal positions. Considering axial and diagonal positions, profile sections are determined. Then, nonlinear structural behavior of steel tower is conducted with nonlinear pushover analysis and nonlinear time history analysis. Through the nonlinear analyses, earthquake behavior of wind tribune steel towers is evaluated.

Key Words: *Steel tower, wind tribune, nonlinear pushover analysis, nonlinear time history analysis*

*Suleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çünür, Isparta

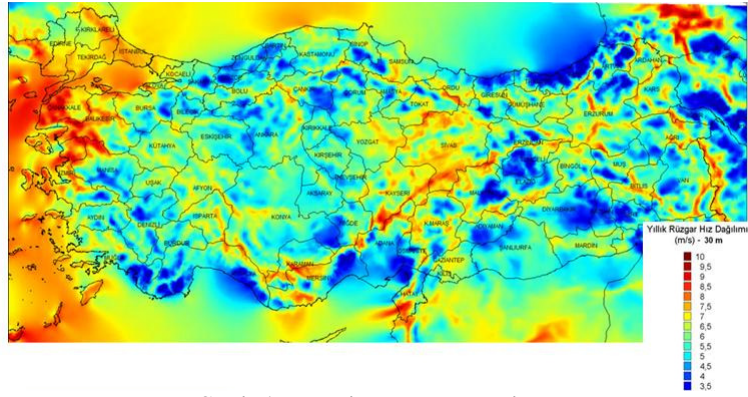
**Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kaynaklar, İzmir

1. GİRİŞ

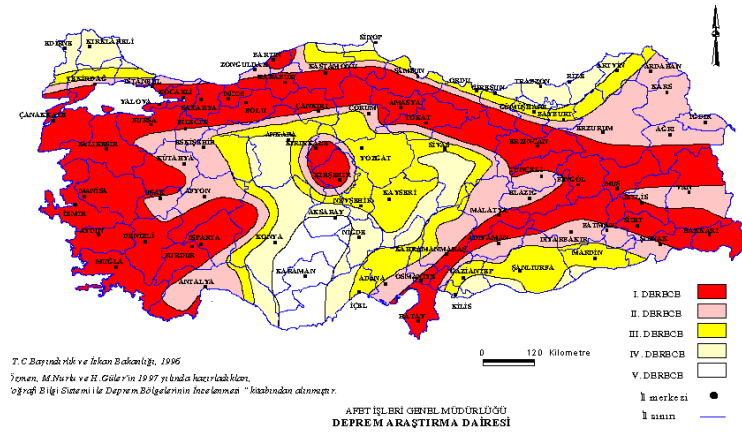
Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları petrol, doğal gaz kömür ve nükleer enerjidir. Yenilenebilir enerji ve nükleer enerji yeni enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji kullanımına dünyada ve ülkemizde tam bir güven olmadığından , yenilenebilir enerji ön planda tutulmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarını Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, gel-git enerjisi, dalga enerjisi, ısı enerjisi şeklinde sıralayabiliriz (Haktanır, 2004).

Rüzgâr enerjisi, sürdürülebilir enerji kaynakları arasında en yaygın olanıdır. Özellikle rüzgar açısından zengin bölgelerde çok iyi verim alınabilmektedir. Rüzgârlı bölgelerde ölçümler yapılmakta ve rüzgâr türbinleri elektrik enerjisinin en çok üretileceği yerlere yerleştirilmektedir ancak Türkiye gibi deprem kuşağında yer alan ülkelerde rüzgar enerjisinin en verimli olduğu bölgeler deprem açısından en güvenli bölgeler olmayabilmektedir. Şekil 1’de Türkiye rüzgar haritası verilirken, Şekil 2’de Türkiye deprem haritası sunulmuştur (Solar Enerji; Deprem Araştırma Daire Başkanlığı). Bu iki haritanın rüzgar türbinlerinin yerleştirilmelerinde ortaklaşa kullanılması gereklidir. Deprem riski yüksek bölgelerde türbinlerin depreme dayanıklı şekilde tasarlanması sürdürülebilir enerjiye katkı sağlayacaktır.

Türkiye’de son on beş yılda can ve mal kaybına sebep olan birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bunlar; 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1998 Adana-Ceyhan, 17 Ağustos 1999 Marmara, 12 Kasım 1999 Düzce, 2002 Afyon ve 2003 Bingöl depremleridir. Depremlerde çok sayıda mevcut yapı hasar görmüştür. Bu depremlerin ardından çeşitli performansla ilgili analiz yöntemleri uygulamaları önem kazanmış ve doğrusal olmayan analizler statik ve dinamik analiz yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Doğrusal olmayan analiz yöntemi belli bir deprem yükü uygulanarak yapıdan istenen deprem davranışının gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini kontrol etmektir (Atımtay, 2000).



Şekil 1. Türkiye rüzgar haritası



Şekil 2. Türkiye deprem haritası

Bu çalışmada rüzgar türbini olarak inşa edilen yüksek bir çelik kule yapısı için statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz uygulanarak incelenmiştir. Analizlerde SAP2000 programı kullanılmıştır. Elemanların doğrusal olmayan yük taşıma kapasitelerini dikkate alabilmek için programda plastik mafsallar tanımlanmıştır (Wilson, 1998).

2. RÜZGÂR ENERJİSİ

Sürdürülebilir enerjilerin içinde en büyük güce sahip olan rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi çeşitli şekillerde üretilmektedir. Bunlardan biri dünyanın dönüşünden oluşan rüzgârlar sürekliliği olan rüzgârlar diğeri ise elize adı verilen yörünge değişikliğinden oluşan rüzgârlardır. Bir başka rüzgâr türü de ısı değişikliğinden kaynaklanan rüzgârlardır. Kıyı ve sahil kesimlerinde görülen rüzgârlar ısı değişikliğinden kaynaklanan rüzgârlardır. Isıya bağlı olarak meydana gelen esintiler sabah yeli, lodos akşam yeli olarak bilinmektedir (Haktanır, 2004).

Meteorolojik ve topografik açıdan rüzgârın olabileceği yerler basınç gradyanının yüksek olduğu yerler, yüksek engebesiz tepe, plato ve vadiler, sürekli rüzgâr alan az eğimli vadiler, yüksek basınç gradyanlı düzlükler, esen rüzgâra paralel olan vadilerdir. Topografya rüzgârın yönü ve hızında oldukça etkili olmaktadır. Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi topografyaya ve türbinin ve türbinin oturduğu çelik kulenin tasarımına bağlıdır. Rüzgâr türbininin çalışmasından elde edilecek elektrik enerjisinin hesaplayabilmek için bölgenin verilerinin ve meteorolojik özelliklerinin bilinmesi önemlidir. Danimarka'da RISO laboratuvarında geliştirilmiş olan Rüzgâr Atlası Analiz ve Uygulama Programı (WASP) bu konuda çok önemli bir yer tutmaktadır. Birden fazla rüzgâr türbininin kurulduğu yerlere rüzgâr çiftliği denilmektedir.

Rüzgâr türbinleri rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Rüzgâr türbini telekomünikasyon sistemlerinin elektriğini üretmek ve konutların elektrik ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Örnek rüzgâr türbinleri Şekil 3'de verilmiştir (Acar, 2007). Rüzgâr türbinleri bir rotor bir güç şaftı ve bir alternatörden meydana gelmektedir. Alternatör, rüzgârdan elde edilen kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedir. Rüzgârın rotordan geçmesi sırasında, aerodinamik bir taşıma kuvveti meydana gelmektedir ve bu taşıma kuvveti rotoru döndürmektedir. Bu dönel hareket jeneratörü hareket ettirerek elektrik üretmektedir.

Rüzgâr enerjisinden enerji üretimi ilk kez 1981'de Danimarka'da başlamıştır. Daha sonra Amerika Birleşik Devletlerinde küçük yer değirmenleri rüzgâr türbinine dönüştürülerek elektrik enerjisi üretilmiştir. Dünyada enerji ihtiyacı giderek artmakta buna rağmen fosil yakıt rezervi ise giderek azalmakta bu durumda temiz enerji kaynaklarına yönelmemizi sağlamaktadır.

Danimarka tüm elektrik enerjisini rüzgâr enerjisinden karşılamaktadır. Bunu Almanya ve Amerika izlemektedir. Çoğu ülkeler 2010 yılında elektrik enerjisinin %10'unu rüzgâr enerjisinden karşılamayı planlıyor. Uzmanlara göre 2011 yılında dünyadaki kurulum gücünün 179 bin 392 megavata ulaşacağı öngörülüyor (Çevre ve İnsan Dergisi, 2004) Rüzgâr türbinlerinin kurulma amacı elektrik enerjisi üretmektir. Bu nedenle bu türbinler bulunduğu çevreye zarar vermeyecek şekilde rüzgâr hızının sabit olduğu yerlere kurulmalıdır.

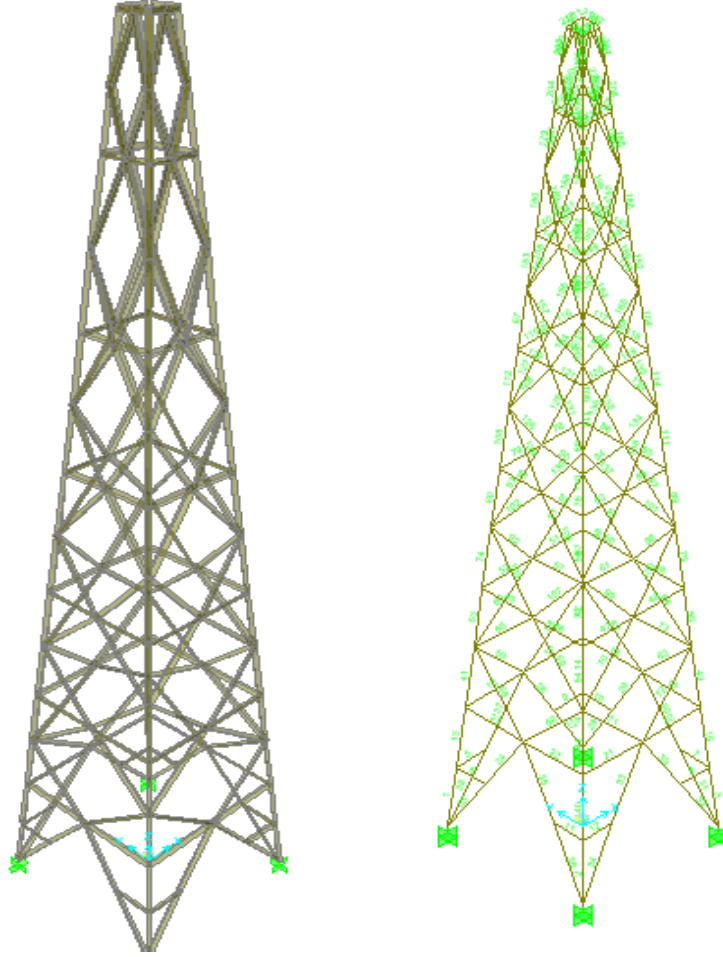


Şekil 3. Örnek rüzgâr türbinleri

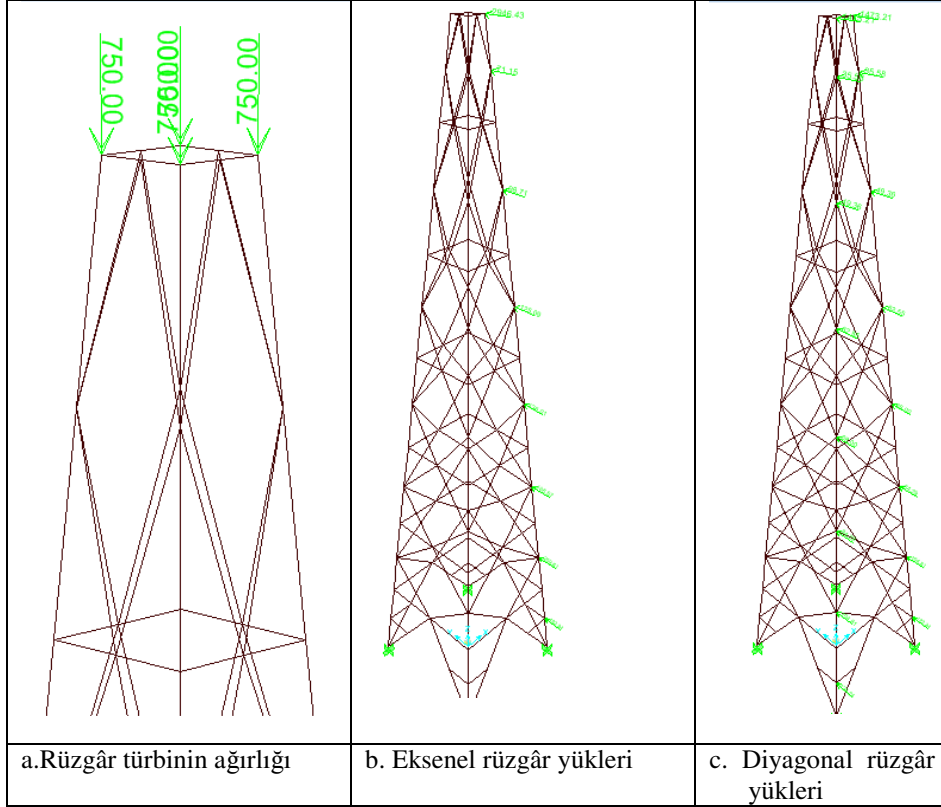
3. RÜZGÂR TRİBÜNÜ ÇELİK KULE ANALİZİ

Rüzgâr türbinlerinde, çelik kule makineyi ve pervaneyi taşımaktadır. Rüzgâr enerjisinden daha fazla yararlanmak için kulenin yüksek olması avantajlıdır. Kuleler dairesel ve kafes olabilir. Dairesel kulelerde bulunan bir iç merdiven sayesinde güvenli bir şekilde türbinlere ulaşılmaktadır. Kafes kulelerin avantajlarından biri ucuz olmasıdır.

Bu çalışmada ele alınan çelik kule 24 m yüksekliğinde ve 8 katlıdır. Şekil 4'de çelik kulenin üç boyutlu görünümü verilmiştir. Türbinin ağırlığı 3000 KN olarak bulunmuş ve türbinin kurulacağı kısmın düğüm noktalarına paylaştırılmıştır. Türbin yükü şekil 4'de gösterilmiştir. Rüzgâr yükleri diyagonal ve aksenal olmak üzere iki şekilde verilerek boyutlandırılma yapılmış ve yapılan hesaplar sonucu kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda 90x90x9 profiller kullanılmıştır. Şekil 5'de rüzgâr yükleme şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.Rüzgâr türbininin üç boyutlu görünüşü



Şekil 5. Rüzgâr türbini çeşitli görünümüleri ve yüklemeler

Eksenel yükler belli bir açıyla kuleye her katın tek noktasında etkimektedir. Diyagonal ise iki noktadan etkimektedir. Diyagonal durumunda etkiyen kuvvet değerleri eksenel durumdaki kuvvet değerlerinin yarısı kadardır.

4. DOĞRUSAL OLMAYAN YAPISAL ANALİZ

Yapıların doğrusal hesap yöntemleri ile yapılan analizlerinde birinci mertbe doğrusal elastik teorisi kullanılmaktadır. Birinci mertbe teorisinde yapı malzemesinin doğrusal elastik davrandığı ve yer değiştirmelerin küçük olduğu kabulleri geçerlidir. Doğrusal analiz yöntemleri ile yapılan hesaplar sonucu, göçmeye karşı sabit bir güvenlik sağlanamadığı ve elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesinden de faydalanılmadığı bilinmektedir. Doğrusal analiz yöntemleri, yapı sistemlerinin elastik kapasiteleri ve ilk akma bölgesi hakkında iyi sonuçlar vermektedir. Fakat yapının göçme mekanizmasının doğrusal analiz yöntemleri ile belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Doğrusal olmayan statik itme analizi, malzeme

ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını gösteren yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin elde edilmesine ve bunun değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaktadır (İrtem, 2002).

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesinde ve yapının elastik ötesi davranışlarını belirlemesinde doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem doğrusal olmayan statik analiz ve doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (FEMA, 2000). En çok güvenilene doğrusal olmayan dinamik zaman tanım alanında analiz yöntemidir. FEMA ve ATC'de doğrusal olmayan statik itme analizleri için yöntemler verilmiştir (ATC 40, 1996; FEMA 356, 2000). Bu çalışmada statik itme analizi ve zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Statik itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve yer değiştirme ilişkisini içeren kapasite eğrisiyle belirlenmektedir.

Zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ile sistemin doğrusal olmayan davranışı sistemin hareket denkleminin artımsal olarak entegre edilmesi ile elde edilmektedir. Hareket denklemi Denklem 1'de verilmiştir.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = [P(t)] \quad (1)$$

Burada; $[P(t)]$: zamana bağlı kuvvetler, $\{\ddot{x}\}$: ivme, $\{\dot{x}\}$: hız, $\{x\}$: yer değiştirme, $[M]$, $[c]$, $[k]$: Kütle, sönüm, rijitlik matrisleridir (Hart ve Wong, 1999).

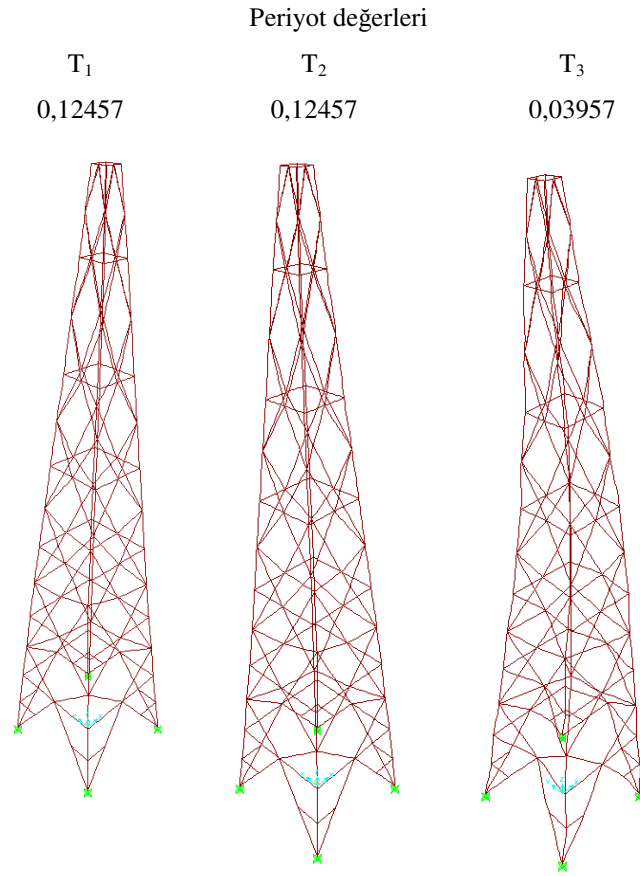
Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz yönteminde farklı özellikteki ivme kayıtlarının kullanılması güvenilir bir değerlendirme için önkoşuldur. Benzer özellikte ivme kayıtlarının kullanılması, doğru bir davranış değerlendirmesi için yetersiz kalabilmektedir. Çalışmada altı adet farklı özellikte deprem kaydı kullanılmıştır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmanın amacı yüksek çelik yapıların doğrusal ötesi davranışlarını dikkate alarak performans değerlendirilmesi yapmaktır. Performans analizinde son 20 yılda yaşadığımız yıkıcı depremler kullanılarak yüksek çelik yapıların deprem performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada 24 m yüksekliğinde bir rüzgâr türbini ele alınmıştır. Yapılan modal analizi sonucunda elde edilen üç periyot şekil 6'da gösterilmiştir. Sistem simetrik olduğundan dolayı x, y ve z yönündeki periyot değerlerinin aynı çıktığı görülmektedir. Şekil 6'da ilk üç periyot durumu bulunmaktadır.

Sisteme tablo 2'deki depremler etki ettirilerek yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Yapı boyutlandırıldıktan sonra doğrusal olmayan analizler yapılırken kolonlarda aksenal yük ve moment (P-M3-M2) etkileri, kirişlerde moment ve kesme

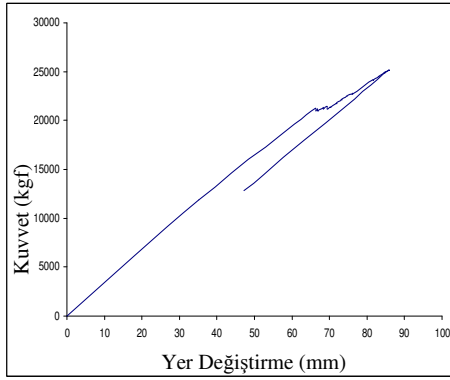
kuvveti ve M3-V2 ve çapraz elemanlarda ise sadece aksenal kuvvet (P) mafsal koşullarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Tablo 1’de statik itme analizi sonucu elde edilen en büyük yer değiştirme ve en büyük taban kesme kuvveti değerleri belirtilmiştir. Şekil 7 ve şekil 8’de statik itme analizi sonucu elde edilen x ve y yönündeki yer değiştirme kuvvet grafiği bulunmaktadır.



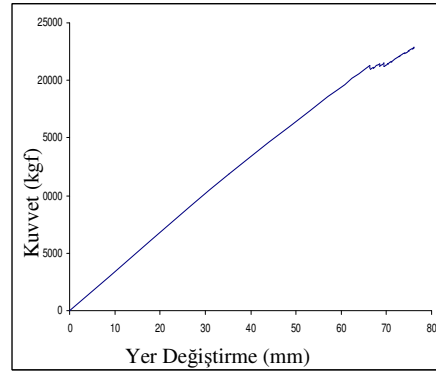
Şekil 6. Çelik kule periyotları

Tablo 1. Statik itme analizi sonucu elde edilen değerler

	X yönü	Y yönü
En Büyük Yer Değiştirmeler (mm)	85.73	75,7648
En Büyük Taban Kesme Kuvveti (Kgf)	25159.2	22881.83



Şekil 7. X yönü statik itme eğrisi



Şekil 8. Y yönü statik itme eğrisi

Artımsal itme analizlerinin ardından zaman tanım alanında analizlere geçilmiştir. Bu analizlerde her bir zaman artımında sistemin deprem etkisine karşı gelen maksimum yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Dinamik analizde Kocaeli, San Fernando, Anza, Düzce, Santa Barbara, Northbridge depremleri kullanılmıştır. Bu depremler farklı büyüklüklere ve odak derinliklerine sahip olmaları açısından seçilmiştir. Zaman tanım alanında analiz yapılırken kullanılan altı depremin özellikleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Zaman tanım alanında yapılan analizlerde kullanılan deprem verileri

Deprem	Tarih	Moment Büyüklik (Mw)	Kayıt	Yer Hızı (cm/s)	Yer ivmesi (g)	Odak Uzaklığı (km)
Kocaeli San	17.08.1999	7.4	ARC000	17.7	0.2188	17
Fernando	02.09.1971	6.6	ORR021	15.6	0.324	24.9
Anza (Horse Cany)	25.02.1980	4.9	AZF315	2.6	0.066	12.1
Düzce Santa	12.11.1999	7.1	1060-E	5.3	0.053	30.2
Barbara	13.08.1978	7.2	SBA222	16.3	0.203	14
Northridge	17.01.1994	6.7	TPF000	17.6	0.364	37.9

Tablo 3. Zaman tanım alanında analiz sonuçları

Depremler	En Büyük Yer Değiştirme x (cm)	En Büyük Yer Değiştirme y (cm)
ANZA	33	22,7
DÜZCE	79	72
KOCAELİ	74,2	50,7
NORTHRIDGE	55,3	23
SANFERNANDO	38,8	41,2
SANTABARBARA	59,3	41,7

6. SONUÇLAR

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen depremler Deprem Mühendisliğinin önemi arttırmıştır. Depreme dayanıklı yapılar yapabilmek için bu yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının bilinmesi gereklidir. Son yıllarda önem kazanan temiz enerji çalışmaları ile önemi artan rüzgar türbinlerinin ülkemizde sağlıklı şekilde uygulanabilmesi için deprem dayanımlarının belirlenmesi gereklidir. Bu çalışmada bir rüzgâr türbinin bulunduğu çelik kulenin deprem davranışının belirlenmesi amaçlanmıştır ve bu amaçla statik itme analizi ve zaman tanım alanında dinamik analiz yapılmıştır.

Zaman tanım alanında dinamik analizde yapıya ait en büyük yer değiştirmeler hesaplanmıştır. Dinamik analizde Kocaeli, San Fernando, Anza, Düzce, Santa

Barbara, Northbridge depremleri ivme kayıtları kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu x ve y yönündeki yer değiştirme değerlerinin hemen hemen eşit çıktığı fakat Düzce depreminin y yönündeki yer değiştirmesi x yönüne göre daha büyük çıktığı görülmüştür. Ayrıca Kocaeli ve Northbridge depremlerinin büyüklükleri ve fay tipleri farklı olmasına rağmen yer hızının hemen hemen aynı olmasından bu iki deprem sonucunda x ve y yönünde elde edilen yer değiştirme değerleri yakın çıkmıştır. Anza depreminin büyüklük, yer hızı ve yer ivmesi değerleri küçük olduğundan bu deprem sonucu elde edilen yer değiştirme değerleri en küçük düzeyde gözlenmiştir. Düzce depreminin büyüklüğü Kocaeli depreminin büyüklüğünden daha küçük olmasına rağmen yer değiştirmeleri daha büyük elde edilmiştir. Yapılan elastik ötesi statik itme analizleri sonuçlarında ilk plastik kesit kırışlar üzerinde meydana gelmiştir. Yapılan modal analiz sonucunda sistemin simetrik olmasından ötürü x ve y yönündeki periyotların eşit çıktığı görülmüştür. Yapılan analizler sonucu elde edilen davranış izi önemlidir. Türbin yapılarının deprem sırasında göstereceği davranış boyutlandırma sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardandır.

KAYNAKLAR

Acar H., 2007, Rüzgar Enerjisi, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Ders Notu 5,

ATC-40, 1996. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, Vol 1 Washington, DC. USA.

Atımtay, E., 2000, Çerçeve ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Temel Kavramlar ve Hesap Yöntemleri, Ankara

Atımtay, E., 2001, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar için Yönetmelik Esasları, Ankara

Çevre ve İnsan Dergisi, 2004, Temiz Enerji Üzerine Notlar

Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, www.deprem.gov.tr

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007 (DBYBHY-2007). Resmi Gazete, Ankara

FEMA, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings,

FEMA 356., 2000, Federal Emergency Management Agency, CA, USA

Haktanır, D., 2004, Hava kirlenmesini önleyebilecek yenilenebilir enerjilerle yakıt hücreleri,

<http://www.fizik.us>

Irtem, E., Turker K., 2002, “Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması”, Balıkesir

Solar Enerji, www.soleaenerji.com

Wilson E., Habibullah A. 1998, “SAP 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual”, Berkeley, Computers and Structures.