

# WINKLER YATAK KATSAYISININ HİPERBOLİK SOĞUTMA KULESİNİN SERBEST TİTREŞİM VE STATİK RÜZGÂR DAVRANIŞINA ETKİSİ

Ali I. Karakas<sup>1</sup>, Korhan Ozgan<sup>2</sup>, Ayse T. Daloglu<sup>3</sup>, Saffet Kılıçer<sup>4</sup> <sup>1,2,3,4</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

#### ABSTRACT

In the present study free vibration and static wind loading behavior of a hyperbolic cooling tower founded on linear elastic Winkler soil with variable subgrade modulus or spring stiffness. The wind load pressures are calculated in accordance with Eurocode. The analyses of shell-column-raft foundation-soil system are conducted using the OAPI feature of SAP2000 with the help of Matlab programming language. Soft, medium and hard soil classes as well as fixed base condition are considered. The period values of tower system, shell wall radial displacements, hoop and meridional forces and moments, column axial forces are compared for these base conditions. As a result it can be concluded that the subgrade modulus value of Winkler soil model has a major influence on the tower periods, shell and column forces. Therefore, the value of subgrade modulus should be carefully selected in the design process of such structures.

#### ÖZET

Bu çalışmada farklı yatak katsayısı değerlerine sahip lineer elastik Winkler zeminine oturan bir hiperbolik soğutma kulesinin serbest titreşim ve statik rüzgar yükü altındaki davranışları incelenmiştir. Rüzgâr yüklemesi Euracode'a göre yapılmıştır. Kabuk-kolontemel-zemin modellemesi ve analizleri SAP2000 programının OAPI özelliğinden yaralanarak Matlab programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Gevşek, orta ve sıkı zemin türleri yanında temelin ankastre durumu için kulenin periyot değerleri, rüzgar yükü için kabuk radyal yer değiştirme, açısal ve meridyonel kuvvet ve moment, kolon ekseni ve kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Zemin yapı etkileşimin hesaba katılmasını sağlayan Winkler zemin modelindeki yatak kat sayısının kulenin periyodu yanında kule kabuk ve kolonlarında oluşan kuvvetleri önemli ölçüde değiştirdiği sonucuna varılmıştır. Bu sebeple bu tür yapıların tasarımı aşamasında yatak katsayısının dikkatli seçilmesi gerekmektedir.

### GİRİŞ

Mühendislik yapıları tasarlanırken, yapı temelinin zemin ile birlikte mümkün olduğunca uyumlu çalışması, gerek geoteknik gerekse yapısal açıdan tasarım esaslarını yerine getirmesi hedeflenir. Genelde üstyapı ve temel çözümlemeleri ayrı yapılmaktadır. Üstyapı, en alt kat kolon ve perdeleri ankastre mesnetli olarak çözülmekte, dolayısıyla zeminin yapıdan yapının da zeminden etkilenmediği varsayılmaktadır. Bu durumda, zemin-yapı etkileşimi yalnızca temel elemanının çözümüne indirgenmektedir. Hâlbuki zemin yapı etkileşimi birçok mühendislik yapılarının tasarımında önemli bir parametredir. Zira gerek ekonomik gerekse emniyetli bir projelendirme için etkiyen yüke ilave olarak yapının davranışının yanı sıra zeminin davranışını ve aralarındaki ilişkiyi de iyi bilmek gerekmektedir. Bu sebeple elastik zemine oturan yapıların çözümü yapı ve geoteknik ile ilgilenen mühendisler arasında oldukça yaygın olarak çalışılmaktadır [1,2].

Zemin ile yapı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan en önemli modellerden biri Winkler tarafından 1867 yılında yapılan çalışmadır. Winkler tarafından önerilen bu modelde zeminin birbirine sonsuz yakın, lineer ve elastik yaylardan meydana geldiği ve zeminin düşey yer değiştirmesinin sadece o noktaya etki eden taban basıncına ve idealleştirilmiş zemindeki yay sabitine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda zemin birbirine sonsuz yakın ve birbirinden bağımsız yaylardan oluşan bir sistem şeklinde düşünülmektedir. Yayların sadece doğrudan doğruya yüklendiklerinde şekil değiştirdikleri ve bir karşı tepki oluşturdukları ancak her yayın komşu yayın yüklenme durumundan etkilenmediği kabul edilmektedir. Elastik yay katsayısı uygulamada "yatak katsayısı" veya "zemin parametresi" olarak adlandırılmaktadır. Bu parametre, düşey yer değiştirme bir birim olduğunda birim genişlikteki birim alana gelen tepki kuvvetini ifade etmektedir.

Bu parametrenin yapı davranışına etkisini inceleyeceğimiz bu çalışmada hiperbolik soğutma kulesi mühendislik yapısı olarak seçilmiştir. Soğutma kuleleri nükleer ve termal enerji santrallerinde kullanılan soğutma suyunun ısınma aşamasından sonra tekrar soğutulmasında kullanılan muazzam yapılardır. Bu yapılar oldukça yüksek ince duvarlı ve geniş çaplı narin yapılardır. Kule geometrisi ve kuleye gelen yükler oldukça karmaşıktır. Bu sebeple birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmacıların birçoğu kuleyi kabuk tabanından ya da kolon tabanından ankastre kabulü yaparak statik ve dinamik analizler yapmışlardır [3-6]. Bazı araştırmacılar ise Winkler zeminini dikkate alıp deprem analizi yapmışlardır [7,8].

Bu çalışmada ise ankastre temel kabulü yanında gevşek, orta ve sıkı zemin türleri için seçilen yatak katsayısı değerleri kullanılarak Winkler zemine oturan içi boş dairesel temelli bir hiperbolik soğutma kulesinin serbest titreşim ve rüzgâr yükü altındaki davranışı incelenmiştir. Yapı-temel-zemin modellemesi ve analizleri SAP2000 programının OAPI özelliğindeki fonksiyonların Matlab programıyla birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı zemin kabulleri için periyot değerleri ve Eurocode'a göre uygulanan rüzgâr yüklemesi altında elde edilen yer değiştirme, açısal ve meridyonel kuvvet ve moment değerleri karşılaştırılmıştır.

# MODEL ÖZELLİKLERİ ve FORMÜLASYON

# Soğutma Kulesi Geometrisi

Bu çalışmada analizleri yapılacak soğutma kulesinin geometrik ve malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Geometriyi ifade eden semboller Şekil 1'de gösterilmektedir. Kulenin hiperbolik eğrisi aşağıdaki denklemle elde edilmektedir.

$$\frac{r^2}{25.304} + \frac{(115.35 - z)^2}{56.143} = 1$$
 (1)

z koordinatı kolon tabanından ölçülmektedir. Kulenin önemli elemanları arasında yer alan kolonlar gerekli hava açıklığını sağlayacak, kabuğun tabanda kalınlaşan kısmı tekil kolon yüklerinin kabuğa düzgün dağıtacak ve tepede kalınlaşan kabuk kısmı ise kuleyi ovalleşmeye karşı daha rijit yapacak şekilde tasarlanmıştır. 88 adet dairesel kolon V şeklinde eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Kule içi boş dairesel sürekli temele sahiptir.

XIX. Ulusal Mekanik Kongresi



Çizelge 1. Soğutma kulesinin geometrik özellikleri

XIX. Ulusal Mekanik Kongresi

θ=270°

Sekil 1. Soğutma kulesi geometrisi, duvar kalınlığı, kolon ve temel görünüsü

# Malzeme Özellikleri

Kule duvar, kolonlar ve dairesel temel için elastisite modulü (E) 28.5 GPa ve Poisson oranı (v) 0.18 olarak alınmıştır. Analizlerde dikkate alınacak zeminler için yatak katsayısı değerleri literatürde daha önce kullanılmış değerler olup Çizelge 2'de verilmektedir.

Jzelge 2. Farklı zemin cinsieri için yatak katsayıları [9]					
Zemin cinsi	$k_z (kN/m^3)$	$k_x(kN/m^3)$	$k_y (kN/m^3)$		
Gevşek	25000	1500	1500		
Orta	50000	4000	4000		
Sıkı	100000	8000	8000		

Cizelge 2 Farklı zemin cinsleri için yatak katşayıları [9]

#### Sonlu Eleman Yöntemi

Kule kabuk-kolon-temel-zemin sisteminin çözümlemesi sonlu eleman sayısal yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Genel hareket denklemi aşağıdaki gibi ifade edilirse

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = \{P\}$$
(2)

burada [M], [C], ve [K] sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini; {P} ise sisteme etkiyen dış yük vektörünü ifade etmektedir. Ayrıca u,  $\dot{u}$ , ve  $\ddot{u}$  ise sırasıyla sistemin yer değiştirme, hız ve ivme vektörlerini göstermektedir. Bu çalışmada sönüm ihmal edilerek statik analiz için

$$\begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \{ u \} = \{ P \} \tag{3}$$

ve serbest titreşim analizi için ise

$$\left(\left[K\right] - \omega_i^2 \left[M\right]\right) \phi_i = 0 \tag{4}$$

denklemleri sayısal olarak çözümlenmiştir. Burada  $\phi_i$  mod şeklini gösteren vektörü ifade ederken  $\omega_i$  ise sistemin açısal doğal frekansını göstermektedir. Sistem rijitlik, kütle ve kuvvet vektörleri bulunurken kule duvarı ve temeli için kabuk, kolonlar için çerçeve ve zemin için yay elemanları kullanılmıştır. Burada yaylar kütlesiz kabul edilmekte ve rijitlikleri yatak katsayısı kadar alınmaktadır. Zemin yaylarının sistem rijitlik matrisine etkisi diyagonal terimlerde görülmektedir. Yani yatak katsayısı değeri üstyapı rijitlik matrisinin ilgili düğüm noktasına karşılık gelen diyagonal terimine eklenmektedir. Bu şekilde Winkler zemininin etkisi dikkate alınmaktadır.

#### Rüzgâr Yükü Hesabı

Rüzgâr yükü Eurocode'a uygun olarak aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Kule üzerinde her hangi bir noktaya gelen rüzgâr basıncı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [10]:

$$q(z,\theta) = q_{p}(z) C_{pe}(\theta)$$
(5)

Rüzgâra dik doğrultudaki düzlemde z yüksekliğindeki bir birim alana gelen maksimum rüzgâr basıncı  $q_p(z)$  Denklem (27) ile ifade edilir:

$$q_{\rm p}(z) = C_{\rm q}(z)q_{\rm b} \tag{6}$$

XIX. Ulusal Mekanik Kongresi

600

yükseklikle değişen etkilenme katsayısı  $C_q(z)$  ve temel rüzgar basıncı  $q_b$  aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$C_{q}(z) = C_{e}^{2}(z)C_{t}^{2}[1+7I_{w}(z)]$$
(7)

$$q_b = 1/2 \rho V_b^2(z)$$
 (8)

 $\rho$ , havanın yoğunluğunu göstermektedir ( $\rho = 1.25$  N/m3). Ayrıca V<sub>b</sub> temel rüzgâr hızını, C<sub>e</sub>(z) yükseklikle değişen yüzey pürüzlülük katsayısını ve C<sub>t</sub> topografya katsayısını göstermektedir. Temel rüzgâr hızı açık bir arazide (örneğin hava alanları gibi), yerden 10m yükseklikte herhangi bir yönde ölçülen 10 dakikalık ortalama rüzgâr hızlarından 50 yılda en az bir kere aşılma olasılığına karşı gelen rüzgâr hızıdır. İstanbul Atatürk Havaalanı'nda sürekli olarak 1 dakika ara ile yapılan rüzgâr hızı ölçüm verilerinin analizi sonucunda, İstanbul ve civarı için temel rüzgar hızı V<sub>b</sub> = 25 m/s olarak tanımlanmıştır.

Yüzey pürüzlülük katsayısı, rüzgârın geldiği doğrultudaki yüzey pürüzlüğünün ortalama- rüzgâr hızına ve hızın yükseklikle değişimine yaptığı etkileri tanımlayan bir katsayıdır. Bu katsayı aşağıdaki bağıntılarla tanımlanır:

$$z \ge z_{\min}$$
 için C<sub>e</sub> (z) = k<sub>r</sub> ln (z/z<sub>o</sub>) ve k<sub>r</sub> = 0.23 (z<sub>o</sub>)<sup>0.07</sup> (9)

$$z < z_{\min} \text{ için : } C_e(z) = C_e(z_{\min})$$
(10)

. . -

Yukarıdaki bağıntılarda  $z_0$  yüzey pürüzlülük uzunluğunu (*m*),  $z_{min}$  ise yüzey pürüzlülük katsayısının sabit olduğu minimum yüksekliği (*m*) göstermektedir. Denize açık arazi tipi için  $z_o=0.003$  ve  $z_{min}=1$  değerleri kabul edilmiştir. İstanbul için topografya katsayısı  $C_t = 1.0$  olarak alınmıştır. Türbülans şiddeti I<sub>w</sub>(z) ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$z > z_{\min} i \varsigma \ln I_w(z) = 1/[C_t \ln(z / z_o)]$$
 (11)

$$z \le z_{\min} \operatorname{için} I_{w}(z) = I_{w}(z_{\min})$$
(12)

 $z_{o}$  ve  $z_{min}$  değerleri yukarıda verilmiştir. Dairesel kesitte basınç dağılım katsayısı,  $C_{pe}(\theta)$  ise Çizelge 3'deki fonksiyonlarla tanımlanmıştır.

Çizelge 3. Eurocode göre dairesel kesitte basınç dağılım katsayısı,  $C_{pe}(\theta)$  fonksiyonları

Dağılım	Minimum basınç	$\theta \leq 73^{\circ}$	$ heta \leq 93^{\circ}$	$\theta > 93^{\circ}$
K1.3	-1.3	$1 - 2.3(\sin\frac{90}{73}\theta)^{2.166}$	$-1.3 - 0.8 \left[ \sin[\frac{90}{73}(\theta - 73)] \right]^{2.395}$	-0.5

Dairesel kesitli soğutma kulesi için yüklemenin yatay kesit üzerindeki değişimleri Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu çalışmada K1.3 dağılımı kullanılmaktadır.



Şekil 2. Rüzgâr açısal basınç dağılımları

## SAYISAL SONUÇLAR

## Serbest Titreşim Analizi

İlk olarak yapının serbest titreşim analizi yapılarak farklı zemin türleri için soğutma kulesinin periyot değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4 yapının ilk 12 moduna ait periyot değerlerini farklı zemin durumları için göstermektedir.

Mod	Zemin cinsi				Değişim oranı (%)			
sayısı	Gevşek <sup>1</sup>	Orta <sup>2</sup>	Sıkı <sup>3</sup>	Ankastre <sup>4</sup>	1-4	2-4	3-4	
1	1.0627	1.0070	0.9633	0.8754	21.4	15.0	10.0	
2	1.0201	0.9165	0.8887	0.8348	22.2	9.8	6.5	
3	0.9337	0.9102	0.8363	0.7623	22.5	19.4	9.7	
4	0.8712	0.8016	0.7924	0.7022	24.1	14.2	12.8	
5	0.8098	0.7194	0.7077	0.6949	16.5	3.5	1.8	
6	0.7129	0.7106	0.6582	0.6470	10.2	9.8	1.7	
7	0.6784	0.6609	0.6303	0.6154	10.2	7.4	2.4	
8	0.6632	0.6286	0.6208	0.5905	12.3	6.4	5.1	
9	0.6352	0.6208	0.6200	0.5629	12.8	10.3	10.1	
10	0.6213	0.5683	0.5673	0.5471	13.6	3.9	3.7	
11	0.5784	0.5425	0.5403	0.5383	7.4	0.8	0.4	
12	0.5691	0.5400	0.5398	0.5332	6.7	1.3	1.2	

Çizelge 4. Periyot değerleri

Çizelge 4 incelendiğinde gevşek zemin kabulünden ankastre kabulüne doğru yapının periyodunun azaldığı görülmektedir. Yani temel-zemin rijitliği arttıkça yapının periyodunun azaldığı görülmektedir. Çizelge 4'de ayrıca üç farklı zemin için elde edilen periyot değerlerinin ankastre temel periyotlarına göre yüzde değişimleri verilmektedir. Değişim oranları incelendiğinde değişimlerin en büyük değeri 4. modda meydana gelmektedir ve en büyük fark %24.1 ile gevşek zemin ve ankastre mesnet arasında meydana gelmiştir. Bu değişim oranı zeminin yapının periyot hesabında oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Yapının periyodunun doğru hesaplanması o yapıya gelebilecek olan deprem yükünün o kadar doğru hesaplanmasını sağlayacaktır. Böylece hem ekonomik hem de emniyetli yapıların tasarlanmasına imkân sağlayacaktır.

Şekil 3'de soğutma kulesinin zeminde ankastre kabulü için elde edilen mod şekilleri gösterilmektedir. Yapının depremde etkili kiriş benzeri eğilme modunun ilk 6 modda gerçekleşmediği görülmektedir. Şekil 3'deki modlar kabuk türü yapılarda görülen dalgalanma modlarıdır. Dalgalanma modları önemli büyüklükte yerel kuvvetlerin oluşmasına sebep olabilmektedir.



Şekil 3. Zeminde ankastre soğutma kulesinin mod şekilleri

# Statik Rüzgâr Analizi

Eurocode'a göre elde edilen dairesel ve boyuna yönde rüzgâr basıncı değerleri soğutma kulesinin duvarı için yapılan sonlu eleman ağındaki her bir düğüm noktasına atanarak statik çözümlemesi yapılmıştır. Farklı temel-zemin türleri için kulenin kabuk duvar ve kolonlarında oluşan kuvvetler elde edilmiştir. Çizelge 5 kulenin belli açılarındaki kolonları için elde edilen eksenel kuvvet değerlerini göstermektedir. Çizelgede okunan pozitif değerler kolonda çekme kuvvetinin negatif değerler ise basınç kuvvetinin oluştuğunu göstermektedir. Çizelgede

Çizelge 5. Kolon kuvvetleri							
	Eksenel kuvvet (kN)				Değişim oranları (%)		
Kolon No	Gevşek <sup>1</sup>	Orta <sup>2</sup>	Sıkı <sup>3</sup>	Ankastre <sup>4</sup>	1-4	2-4	3-4
1 (0°)	1685.6	1693.2	1697.3	1701.0	0.9	0.5	0.2
9 (33°)	-282.7	-313.3	-328.8	-329.2	15.7	4.4	0.1
19 (73°)	-1504.2	-1500.4	-1498.1	-1504.5	0.0	0.3	0.4
23 (93°)	-466.9	-425.9	-394.1	-334.2	-28.4	-21.5	-15.2
44(180°)	178.4	178.4	178.7	183.4	2.8	2.8	2.6

verilen kolon numaraları Şekil 1' de gösterilmektedir ve kolonların bulundukları açılar Şekil 2'deki açısal rüzgâr dağılımındaki önemli açılara denk gelmektedir.

Çizelge 5 incelendiğinde temel-zemin rijitliği arttıkça yani zemin yatak katsayısının büyümesiyle açısal rüzgâr dağılımında basınç bölgesinde kalan kolonlarında oluşan eksenel çekme ve basınç kuvvetin arttığı görülmektedir. Bunun yanında açısal rüzgâr dağılımında maksimum çekme bölgesinde kalan kolonlarında ise çekme kuvveti azalma eğilimindedir.



Şekil 4. Soğutma kulesi  $\theta = 0^{\circ}$  açısındaki radyal yer değiştirmeler

Şekil 4 soğutma kulesinin  $\theta=0^{\circ}$  açısında rüzgâr yüklemesinden dolayı kule yüksekliği boyunca oluşan radyal yer değiştirmeleri farklı zemin türleri için göstermektedir. Şekilden maksimum radyal yer değiştirmelerin kulenin boyun kısmına yakın bölgelerde meydana geldiği görülmektedir. Gevşek zemin için maksimum radyal yer değiştirme kulenin 75m yüksekliğinde 7.3 cm iken ankastre zemin için 85m yüksekliğinde değeri 3.8 cm olmuştur.

----- Gevşek ----- Orta ----- Sıkı ---- Ankastre



Şekil 5. Kulenin  $\theta = 0^{\circ}$  açısındaki a-c) açısal b-d) meridyonel kuvvetler ve momentler

Şekil 5'de soğutma kulesi yüksekliği boyunca oluşan açısal, meridyonel kuvvetler ve momentler farklı zemin türleri için gösterilmiştir. Şekil 5(a),(b) ve (d)'den görüldüğü şekilde kule yüksekliği boyunca zemin türleri için açısal ve meridyonel kuvvette ve meridyonel momentte önemli bir fark meydana gelmemektedir. Açısal kuvvetin kabuk taban kısmında çekmeye tepe bölgesinde ise basınca sebep olurken gövde kısmında sıfıra yakın değerler almaktadır. Şekil 5(c)'de kule yüksekliği boyunca oluşan açısal momentin farklı zemin türleri için kulenin tepe ve taban kısmında farklılıklar gösterirken yine gövde kısmında sıfıra yakın değerler almaktadır. Kule tepesinde ve tabanında sırasıyla gevşek zemin için -83 kN.m/m ve 25 kN.m/m değerine düşmektedir. Şekil 6'da kulenin tepe, boyun ve taban bölgelerinde açısal momentin kule çevresindeki değişimlerini göstermektedir. Burada dağılımlar simetrik olduğundan 180°'lik kısım gösterilmiştir. Şekilden kulenin farklı açılarında momentlerin işaret değiştirdiği görülmektedir. Zemin türlerine bağlı olarak da çevresel olarak önemli büyüklük değişimleri göstermektedir.



Şekil 6. Soğutma kulesinin a) tepe b) boyun ve c) tabanında oluşan açısal momentler

#### SONUÇLAR

Bu çalışmada ankastre temel kabulü yanında gevşek, orta ve sıkı zemin türleri için literatürdeki yatak katsayısı değerleri kullanılarak Winkler elastik zemine oturan halka dairesel temelli bir hiperbolik soğutma kulesinin rüzgâr yükü altındaki davranışı incelenmiştir. Yapı-temel-zemin modellemesi ve analizleri SAP2000 programının OAPI özelliğindeki gerekli fonksiyonların Matlab programında yazılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Dört farklı zemin kabulü için Eurocode'a göre uygulanan rüzgâr yüklemesi altında elde edilen yer değiştirme, açısal ve meridyonel kuvvet ve moment diyagramları yanında serbest titreşim değerleri de karşılaştırılmıştır.

XIX. Ulusal Mekanik Kongresi

Karakas<sup>1</sup>, Ozgan<sup>2</sup>, Daloglu<sup>3</sup> ve Kılıçer<sup>4</sup>

Kulenin temel-zemin yatak katsayısının artması periyodunun azalmasına sebep olmaktadır. Yapıda oluşan ilk modlar kabuk dalgalanma şeklindedir. Depremde etkili eğilme modları ise oldukça geç oluşmaktadır. Bu yüzden bu tür yapılar depremden çok rüzgâr yükünden daha fazla etkilenirler. Yatak katsayısının büyümesi kulenin bazı kolonlarında oluşan eksenel çekme kuvvetin artmasına bazı kolonlarında oluşan basınç kuvvetinin azalmasına sebep olmaktadır. Gevşek zemin için oluşan kule kabuk radyal yer değiştirmeleri ankastre zemin yer değiştirme değerlerinden yaklaşık iki kat fazla olmuştur. Açısal ve meridyonel kuvvetlerin kulenin kabuğunda zemin türlerine göre önemli farklılıklar göstermemektedir. Bunun yanında açısal ve meridyonel momentlerin kulenin tepe ve taban noktasında zemine göre önemli farklılıklar gösterdiği diğer bölgelerde ise sıfıra yakın değerler aldığı görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Y.F. Rashed, M.H. Aliabadi, C.A. Brebbia, The boundary element method for thick plates on a Winkler foundation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 41 (1998) 1435-1462.
- [2] F.L. Liu, Rectangular thick plates on Winkler foundation: Differential Quadrature Element Solution, *International Journal of Solids and Structures*. 37 (2000) 1743-1763.
- [3] A. Esmaeil, A. Rajan, S.K. Mrudula, A. Sahebali, Finite element analysis for structural response of rcc cooling tower shell considering alternative supporting systems, *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 3 (2012) 82-98.
- [4] A.M. Nasir, D.P. Thambiratnam, D. Butler, P. Austin, Dynamics of axisymmetric hyperbolic shell structures, *Thin-Walled Structures*. 40 (2002) 665-690.
- [5] Karisiddappa, M.N. Viladkar, P.N. Godbole, K. Prem, Finite element analysis of column supported hyperbolic cooling towers using semi-loof shell and beam elements, *Engineering Structures*. 20 (1998) 75-85.
- [6] S.N. Tande, S.C. Snehal, Linear and nonlinear behavior of rc cooling tower under earthquake loading, *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*. 2 (2013) 370-379.
- [7] L. Christian, Free vibration and earthquake behavior of solar power plant chimneys, *III ECCOMAS Thematic Conference on Comp Methods in Struct Dynamics and Earthquake Engineering.* 2011, Corfu, Greece.
- [8] L. Christian, Earthquake behavior of natural draft cooling towers-Determination of behavior factors with special regard to different types of supporting column systems, *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics*. 2011, Leuven, Belgium.
- [9] R.M. Jenifer Priyanka, N. Anand, Dr. S. Justin, Studies on soil structure interaction of multi storeyed buildings with rigid and flexible foundation, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. 2 (2012) 111-118.
- [10] prEn 1991-1-4, Eurocode 1: Actions on Structures-Part 1-4: General Actions-Wind Actions, 2004, Brussels.