

Fizik Dergisi: Konferans Serisi

MAKALE - AÇIK ERIŞİM

Stokastik Analiz Kullanılarak Ayarlanmış Sıvı Kolon Damperi ile Rüzgar Türbinlerinin Titreşiminin Azaltılması

Bu makaleye atıfta bulunmak için: M H Alkmim ve diğerleri 2016 J. Phys: Konf. Ser. 744 012178

Güncellemeler ve geliştirmeler için [makaleyi çevrimiçi](#) olarak görüntüleyin.

Siz de beğenebilirsiniz

- [Tam ölçekli bir binanın rüzgar tepkilerinin zayıflatılması için ayarlı sıvı kütle damperlerinin tasarımı ve testi](#)
Kyung-Won Min, Junhee Kim ve Young-Wook Kim
- [Stokastik Yüke Maruz Bir Rüzgar Türbininde Ayarlanmış Sıvı Kolon Damperinin Optimum Parametreleri](#)
M H Alkmim, M V G de Morais ve A T Fabro
- [Yapıların çok yönlü titreşimini azaltmak için yarı aktif toroidal TLCD](#)
Jian Zhang, Hao Ding ve Jin-Ting Wang



The
Electrochemical
Society

Advancing solid state &
electrochemical science & technology



DISCOVER
how sustainability
intersects with
electrochemistry & solid
state science research



Bu içerik 78.163.180.229 IP adresinden 01/05/2024 tarihinde saat 16:07'de indirilmiřtir.

Stokastik Analiz Kullanılarak Ayarlanmış Sıvı Kolon Damperi ile Rüzgar Türbinlerinin Titreşiminin Azaltılması

M H Alkmim¹, M V G de Morais¹, A T Fabro¹

¹ Makine Mühendisliği Bölümü, Brasília Üniversitesi, Campus Universitario Darcy Ribeiro, Brasília, 70910-900, Brezilya

E-posta: mansour.alk@gmail.com

Özet Pasif enerji dağıtma sistemleri, sönümlemeyi arttırmak için bir dizi malzeme ve cihazı kapsar. Bunlar hem doğal tehlikelerin azaltılması hem de eskiyen veya yetersiz yapıların rehabilitasyonu için kullanılabilir. Mevcut pasif enerji dağıtma sistemleri arasında, birincil sistemin yapısal titreşimini kontrol etmek için "U" şeklindeki bir rezervuardaki sıvıyı kullanan bir pasif kontrol sınıfı olan ayarlanmış sıvı kolon damperi (TLCD), çeşitli uygulamalarda yaygın olarak araştırılmıştır. Bu makale, rüzgar türbinleri için TLCD uygulamasına odaklanarak matematiksel modelin yanı sıra sisteme gömülü doğrusal olmayanlığın üstesinden gelmek için kullanılan yöntemleri sunmaktadır. Sistemin optimum parametrelerini belirlemek için optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, doğrusal olmayan modeli doğrusal eşdeğeri ile karşılaştırmak ve TLCD'nin etkinliğini araştırmak amacıyla eşdeğer doğrusallaştırılmış sistem ve rastgele uyarıma altındaki doğrusal olmayan sistem dikkate alınarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Sonuçlar, beyaz gürültü ve birinci dereceden filtre spektrumu olmak üzere iki tür rastgele uyarım kullanılarak gösterilmiştir; ikincisi, uyarım spektrumu fiziksel olarak beyaz gürültü spektrum modelinden daha gerçekçi olduğu için daha tatmin edici sonuçlar sunmaktadır. Sonuçlar, TLCD'lerin optimum ayarda birincil yapının enerjisini %3 ila 11 arasında önemli ölçüde dağıtabileceğini göstermektedir.

1. Giriş

Brezilya'nın mevcut enerji senaryosu hassas bir durumdan geçmektedir. 2015 yılında enerji sektöründe yaşanan son kriz ONS'nin (Ulusal Sistem Organı) termik santrallerin geri dönüşünü onaylamasına neden olmuştur. PNE 2030 (Ulusal Enerji Planı) tarafından yayınlanan verilere göre ülkede üretilen enerjinin çoğu hidroelektrik santrallerden gelmektedir ve 2030 yılına kadar hidroelektrik santrallerin enerji matrisinin %77,4'üne katılacağı öngörülmektedir [1]. Tüm avantajlarına rağmen, gelecekte sunacakları konusunda belirsizlikler vardır. S. Luiz do Tapajos ve Belo Monte gibi büyük projeler, nehirlerin yer değiştirmesi, fauna üzerindeki etkiler ve yerel topluluklarla çatışmalar gibi ciddi sosyo-çevresel çatışmalarla karşı karşıya kalmıştır. Hidroelektrik enerjinin diğer stratejik sorunları ise hava koşullarına ve enerjinin öncelikle Amazon bölgesindeki konumuna yüksek oranda bağımlı olmasıdır. Rezervuarlardaki su seviyelerinin kötü yönetimine ilişkin son örnekler, çevresel ve ekonomik zararlar yaratan fosil yakıt temelli enerji santrallerinin yeniden faaliyete geçmesine yol açmıştır.

Bu gerçekler ışığında hükümet, mevcut durumu değiştirmek ve elektrik kaynaklarını çeşitlendirmek için stratejik planlar açıkladı. Önerilen seçeneklerden biri, şu anda enerji matrisinin küçük bir bölümünü oluşturan ve muazzam bir potansiyele sahip olan rüzgar enerjisidir. PDE-2022'ye göre ülkenin 2022 yılına kadar 17 GW'tan fazla rüzgar gücüne sahip



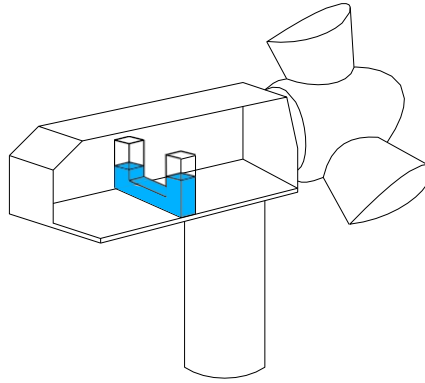
Bu çalışmanın içeriği [Creative Commons Attribution 3.0 lisansı](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) koşulları altında kullanılabilir. Bu çalışmanın daha fazla dağıtımı, yazar(lar)a ve çalışmanın başlığına, dergi alıntısına ve DOI'ye atıfta bulunmalıdır.

(Enerji Genişlemesi için On Yıllık Plan). Mevcut senaryoda, rüzgar enerjisinin kurulu kapasitesi toplam 6,1 GW üretmektedir; bu rakam, 143,5 GW civarında olan rüzgar potansiyeli atlasına göre üretim kapasitesinin çok altındadır [1].

Geçtiğimiz yıllarda rüzgar türbinlerinde kullanılan teknolojide kayda değer ilerlemeler kaydedilmiştir; yapısal ve dinamik analiz alanındaki gelişmeler daha büyük ve daha verimli rüzgar türbinlerinin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Ancak, daha yüksek ve ince yapılar, rüzgar, okyanus dalgaları veya depremlerden kaynaklanan dinamik yüklerle ilgili olarak bütünlüğü konusunda zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Rüzgar türbinlerinin titreşim kontrolü konseptini geliştirmek için ciddi çabalar sarf edilmiştir.

Titreşim kontrolü son yıllarda çeşitli teknik çalışmaları gündeme getirmiştir [2-5]. Ayrıca, rüzgar türbinlerinde farklı tipte cihazların titreşim kontrol uygulamaları ile karşılaşılmıştır [5-7]. Özellikle, enerji dağıtma sistemleri arasında, Ayarlanmış Sıvı Kolon Damperleri (TLCD'ler) çeşitli özel yayınlarda ortaya çıkmaktadır ve nispeten düşük maliyeti ve iyi verimliliği nedeniyle iyi bir seçenek haline gelmiştir.

Şekil 1'de gösterildiği gibi, TLCD sıvı kolonunun hareketine bağlı olarak çalışır. Kolon farklı geometrilere sahip olabilir, özellikle bu makalede TLCD "U" şeklindedir. TLCD yay veya mafsallı gibi ekstra bir mekanizma gerektirmez, bunun yanı sıra geometrisi tasarım ihtiyaçlarına göre değişebilir, bu da onları çok yönlü cihazlar haline getirir. Sistemin görünürdeki basitliğine rağmen, sönümleme sıvının genliğine bağlıdır ve bu nedenle TLCD'nin dinamikleri doğrusal değildir, bu da modele bazı matematiksel komplikasyonlar getirir.



Şekil 1: Rüzgar türbininde uygulanan olası ayarlı sıvı kolon damperi şeması.

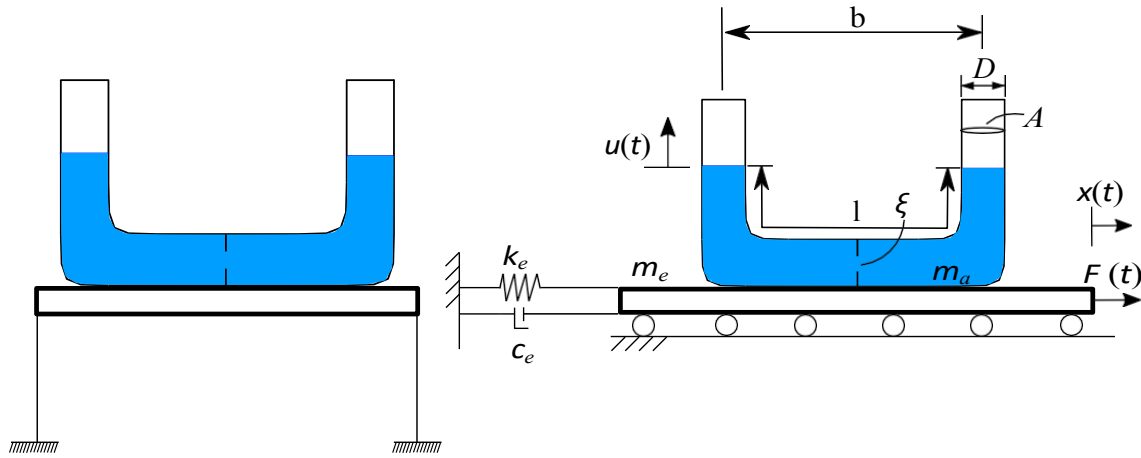
Bu çalışmada, beyaz gürültü ve birinci dereceden filtre spektrumu olmak üzere iki tür rastgele uyarıma maruz kaldığında doğrusal olmayan ve eşdeğer doğrusallaştırılmış sistem dikkate alınarak karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bölüm 2'de TLCD ve yapı modellemesinin yanı sıra istatistiksel doğrusallaştırma kullanılarak rastgele uyarım altında optimum TLCD parametreleri sunulmaktadır. Bölüm 3, PSD ve doğrudan entegrasyon şemalarını kullanarak rastgele uyarıma bağlı tepkiyi sunmaktadır. Bölüm 4, bir rüzgar türbini vaka çalışmasından elde edilen bazı sayısal sonuçları göstermektedir. Ve son olarak, Bölüm 5'te bazı sonuçlar ve son değerlendirmeler yer almaktadır.

2. TLCD ve yapı modellemesi

TLCD modeline monte edilmiş yapıyı Şekil 2'de çizildiği gibi düşünün. Yapı için idealleştirme kabul edilebilir çünkü destek ihmal edilebilir kütle ve sabit kesite sahiptir, bu nedenle kesme-çerçeve sistemine sertlik ve eşdeğer sönümleme ile tek serbestlik dereceli bir model olarak yaklaşmak mümkündür.

Akışkanın hareketini tanımlayan denklem şu şekilde verilir

$$\rho A l u''(t) + \frac{1}{2} \rho A l \dot{u}(t) \dot{u}(t) + 2 \rho A g u(t) = -\rho A b x''(t), \quad (1)$$



Şekil 2: Sistemin şematik modeli.

Burada $u(t)$ akışkan fonksiyonunun yer değiştirmesi, $x(t)$ birincil sistem fonksiyonunun yer değiştirmesi, ρ akışkan yoğunluğu, ξ yük kaybı katsayısı, A kolonun kesit alanı, b ve l sırasıyla kolonun yatay ve toplam uzunluğu ve g yerçekimi sabitidir. TLCD kütlesinin $m_a = \rho A l$, TLCD sönümünün $c_a = \frac{1}{2} \rho A l \xi$ ve TLCD rijitliğinin $k_a = \rho A g$ ile verildiği gözlemlenebilir. Doğal frekansı $\omega_a = \sqrt{\frac{2g}{l}}$ tüpteki salınım ω_a ile elde edilebilir.

Birincil yapının hareket denklemi şu şekilde verilir

$$(m_e + m_a) \ddot{x}(t) + \rho A b u''(t) + c_e \dot{x}(t) + k_e x(t) = F(t), \quad (2)$$

Burada m_e parametresi yapı kütlesi, k_e yapı sertliği, c_e yapı sönümü ve $F(t)$ dış kuvvettir. Böylece, (1) ve (2) birleştirilir. Matris formundaki hareket denklemi şu şekilde yazılabilir

$$\begin{bmatrix} m_e + m_a & \alpha m_a \\ \alpha m_a & m_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_e & 0 \\ 0 & c_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_e & 0 \\ 0 & k_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad |u| \leq \frac{l-b}{2}, \quad (3)$$

Burada $\alpha = b/l$ boyutsuz uzunluk oranıdır. (3)'te sunulan koşul, kolondaki sıvının su dökmemesini ve sonuç olarak sönümlenme karakteristiğini değiştirmemesini sağlamak için gereklidir. Denklem (3), kütle matrisi boyutsuz formda aşağıdaki şekilde verilerek de yazılabilir

$$\begin{bmatrix} 1 + \mu & \alpha \mu \\ \alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\omega_e \zeta & 0 \\ 0 & \frac{\omega_e \zeta}{2l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{u} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_e^2 & 0 \\ 0 & \omega_e^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F(t)}{m_e} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Burada ζ_e ve ω_e sırasıyla yapının sönüm oranı ve doğal frekansıdır. Boyutsuz parametreler olan kütle oranı μ ve ayarlama oranı γ şu şekilde tanımlanır

$$\mu = \frac{m_a}{m_e}; \quad \gamma = \frac{\omega_a}{\omega_e}. \quad (5)$$

2.1. İstatistiksel Doğrusallaştırma

Sönümlenmenin doğrusal olmayan doğası, sönümlenme katsayısına eşdeğer bir değer belirlenmesini gerektirir. Roberts ve Spanos [8], istatistiksel doğrusallaştırma yöntemini kullanarak sönümlenme katsayısının optimum değerini tahmin etmek için bir prosedür önermiştir. Bu yöntemi şu şekilde ifade etmek mümkündür

$\epsilon = (1/2)\rho A \xi |u|^2 - c_{eq} u$ olarak eşdeğer doğrusal sistem ile doğrusal olmayan sistem arasındaki hata, burada eşdeğer sönümleme c_{eq} değeri, hata değerinin standart sapması, yani $E\{\epsilon^2\}$ minimize edilerek elde edilebilir. Sıvı hızının Gauss formuna sahip olduğu varsayıldığında, eşdeğer sönümleme için ifade şu şekilde verilir

$$c_{eq} = \frac{r}{\pi} \rho A \xi \sigma = 2\omega \zeta_a, \quad (6)$$

Burada σ_u akışkan hızının standart sapmasıdır. Bu nedenle, eşdeğer sönümleme istatistiksel doğrusallaştırma ile yaklaşılan c_{eq} (3)'teki doğrusal olmayan c_a değerinin yerini alabilir. Eşdeğer sönümleme, optimizasyon hesaplamasını daha kolay hale getirmek için ζ_a sönümleme oranının bir fonksiyonu olarak da ifade edilebilir.

2.2. Optimum parametreler

Optimize edilmiş sönümleme oranını ve optimize edilmiş ayarlama oranını bulmak için Yalla ve Kareem [9] tarafından önerilen yöntemi uyguladık. İlk olarak, birinci ve ikinci serbestlik derecesinin sistem doğrusallaştırılmış frekans tepki fonksiyonunu sırasıyla $H(\omega) = X(\omega)/F(\omega)$ ve $G(\omega) = U(\omega)/F(\omega)$ olarak tanımlıyoruz. Sistem yanıtları, ana sistem ve TLCD hızının varyansı aşağıdaki şekilde elde edilecek şekilde hesaplanabilir [10]

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 S_{ff}(\omega) d\omega, \quad \sigma_u^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |G(\omega)|^2 S_{ff}(\omega) d\omega, \quad (7)$$

Burada $S_{ff}(\omega)$ giriş kuvvetinin güç spektral yoğunluğudur (PSD) ve seçilen rüzgar profili modeline bağlı olarak farklı değerler alabilir. (7)'deki karmaşık integrallerin çözümü için basitleştirilmiş bir yaklaşım gerekmektedir [8].

Özellikle beyaz gürültü uyarımı için kapalı formda bir çözüm elde etmek mümkündür. Optimum koşullar şu şekilde verilir

$$\frac{\partial \sigma_x^2}{\partial \gamma} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_x^2}{\partial \mu} = 0, \quad \frac{\partial \zeta_a}{\partial \mu} = 0, \quad (8)$$

sönümsüz birincil sistem ($\zeta_e = 0$) durumu için çözümler şunlardır

$$\zeta_{opt} = \frac{\alpha}{2} \frac{2\mu \alpha^2 \mu - \mu}{(\alpha^2 \mu^2 + \alpha 2\mu - 4\mu - 2\mu^2 - 2)}, \quad (9)$$

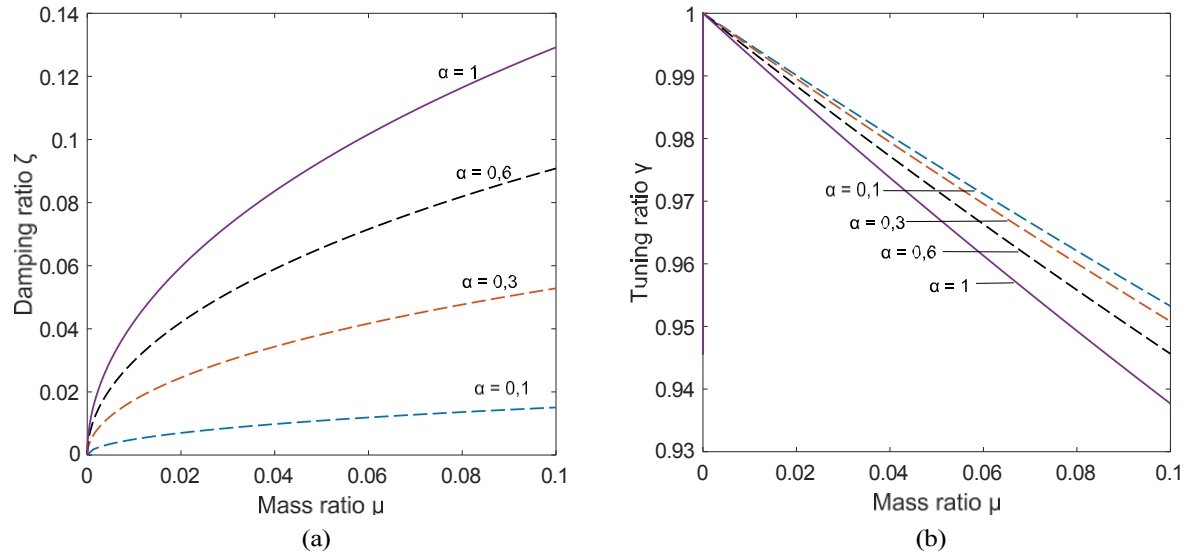
$$\gamma_{opt} = \frac{q \sqrt{1 + \mu(1 - \frac{\alpha^2}{2})}}{1 + \mu}, \quad (10)$$

Burada elde edilen değerler kütle, doğal frekans ve tüp uzunluğu gibi sistem parametrelerinin fonksiyonlarıdır.

Şekil 3, kütle oranı μ ve uzunluk oranı α 'nın değişimiyle ζ ve γ parametrelerinin değişimini göstermektedir. Şekil 3(a) incelendiğinde, μ 'nun daha büyük değerleri için sönümleme oranının arttığı görülmektedir. Bu da TLCD ne kadar büyük olursa sönümleme oranının da o kadar büyük olacağı anlamına gelmektedir ki bu da (9)'daki tahmini doğrulamaktadır. Öte yandan, Şekil 3(b)'de kütle oranı arttıkça ayarlama oranı azalmaktadır. Geometrik parametre α , dikey uzunlukları olmayan TLCD'ler için, yani $\alpha = 1$, şekli önemli ölçüde değişmesine ve TLCD'nin tamamen bir sloshing damperi olarak işlev görmesine rağmen sönümleme oranının değerinin daha büyük olduğunu göstermektedir. Bu gözlem fiziksel olarak

MOVID 2016 & RASD 2016
MOVID 2016 & RASD 2016
Fizik Dergisi: Konferans Serisi **744** (2016) 012178

IOP Yayıncılık
doi:10.1088/1742-6596/744/1/012178



Şekil 3: Değişkenlerin farklı değerleri için optimize edilmiş parametrelerin (a) ζ ve (b) γ karşılaştırılması μ ve α .

dolaylı olarak sloshing damperine katkıda bulunur. Daha büyük α değerleri ayarlama oranının düşmesine neden olur, ancak bu değişim kütle oranındaki değişimden daha az önemlidir.

Beyaz gürültü, tüm frekans bantlarını kapsayan bir tür güç spektral yoğunluk fonksiyonu (PSD) idealleştirmesidir. Analizi basitleştirmek için kullanılır, böylece tatmin edici başlangıç sonuçları elde etmek mümkün olur. Birinci dereceden bir filtre (FOF) olarak zorlama fonksiyonu, rüzgar yüklemesi boyunca rüzgar kaynaklı pozitif basınçlara yaklaşmak için kullanılabilir. Kanai-Tajimi Spektrumu ve Davenport Spektrumu gibi diğer PSD türlerinden de bahsetmek gerekir. Her ikisi de pürüzlülük, yükseklikler, rüzgar kuvvetleri ve heyecanın dinamik özelliklerinde genel değişiklikler gibi gerçek problemle ilgili hususları dikkate alarak fiziksel olarak temsili rüzgarların zaman serilerini üretir. Tablo 1, rüzgarı modellemek için kullanılan olağan güç spektral yoğunluk fonksiyonlarını göstermektedir.

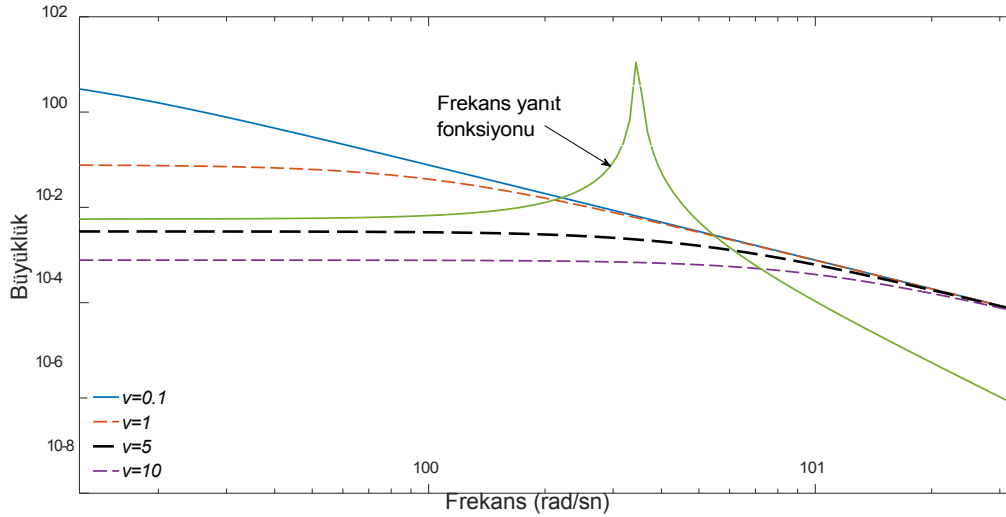
Tablo 1: Rüzgarı modellemek için kullanılan güç spektral yoğunluk fonksiyonları.

Filtre	Güç spektral yoğunluk fonksiyonları
Beyaz Gürültü	$S_{WN}(\omega) = S_0$
Birinci Dereceden Filtre	$S_{FOF}(\omega) = S_0 / (\nu^2 + \omega)^2$
Davenport Filtre	$S_{DAV}(\omega) = 4\kappa L U \chi / (1 + \chi)^{24/3}$, $\chi = \omega L / U$
Kanai-Tajimi Filtre	$S_{KT}(\omega) = (1 + 4\xi_g^2 (\omega/\omega_g) S_0) / [1 + (\omega/\omega_g)^2 + 4\xi_g^2 (\omega/\omega_g)]^2$

Birinci dereceden filtre için, S_0 beyaz gürültü durumu için güç spektral yoğunluğu, ν bir filtre parametresi ve ω salınan sistemin frekansıdır. Davenport filtresi için ω frekans, U ortalama hız, L uzunluk ve κ sürüklenme katsayısıdır [11]. Kanai-Tajimi filtresi için, ω_g ve ξ_g sırasıyla karakteristik frekans ve karakteristik sönümlleme oranı olarak yorumlanabilir. Kanai-Tajimi spektrumu, yüksek frekansları zayıflattığı ve küçük frekanslar üzerinde minimum etkiye sahip olduğu ω_g civarındaki frekansı yükseltir [12]. Analiz

Bu makalede beyaz gürültü ve birinci dereceden filtre ile sınırlı kalacaktır.

Şekil 4, ν parametresinin farklı değerleri için Birinci Derece Filtre (FOF) PSD'sini ve referans olarak birincil sistemin frekans yanıt fonksiyonunu göstermektedir. Yüksek ν değerleri için FOF PSD'sinin beyaz gürültü PSD'sine basitleştirilebileceği gösterilebilir.



Şekil 4: ν 'nin farklı değerleri için m cinsinden FOF ve birincil sistemin m/s cinsinden frekans tepki fonksiyonu².

Tablo 2 ve Tablo 3, birincil sistemin farklı sönümleme koşulları ve kütle oranının farklı değerleri dikkate alınarak beyaz gürültü ve FOF PSD'leri için sönümleme oranı ve ayarlama için optimize edilmiş değerleri göstermektedir. Her iki PSD için $\alpha = 0.9$ ve FOF için $\nu = 0.1$ kullanılmıştır.

Tablo 2: Farklı kütle oranı ve birincil sistem sönümlemesi için beyaz gürültü için optimize edilmiş soğurucu parametreleri

μ (%)	Birincil sistem olmadan sönümleme		Sönümleme 1%		Sönümleme 2%		Sönümleme 5%	
	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}
0.5	0.9965	0.0318	0.9962	0.0318	0.9959	0.0318	0.9949	0.0318
1.0	0.9930	0.0448	0.9926	0.0448	0.9922	0.0448	0.9908	0.0448
1.5	0.9896	0.0548	0.9891	0.0548	0.9885	0.0548	0.9869	0.0548
2.0	0.9862	0.0631	0.9856	0.0631	0.9850	0.0631	0.9832	0.0631

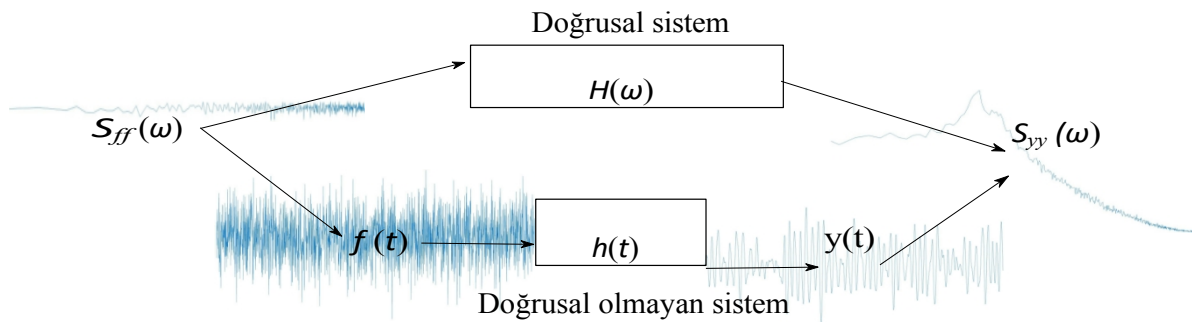
Tablo 2 ve Tablo 3'ten ζ_{opt} değerlerinin her iki PSD için de çok benzer olduğu görülebilir. Ayrıca, heyecan birinci dereceden bir sistem (FOF) tarafından tanımlandığında birincil sistem sönümlemesinin etkisi daha hassastır. Ayarlama oranı birincil sistem sönümlemesine karşı duyarsızdır. Tablo 2'deki değerler basitçe (9) ve (10)'un uygulanmasıyla elde edilmiştir. Tablo 3'teki değerler sayısal olarak elde edilmiştir. Basitleştirme amacıyla, (9)'un FOF PSD için geçerli olduğunu varsayacağız.

Tablo 3: Farklı kütle oranı ve birincil sistem sönümlemesi için FOF gürültüsü için optimize edilmiş soğurucu parametreleri

μ (%)	Birincil sistem olmadan sönümleme		Sönümleme 1%		Sönümleme 2%		Sönümleme 5%	
	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}	γ_{opt}	ζ_{opt}
0.5	0.9956	0.0317	0.9946	0.0317	0.9934	0.0317	0.9887	0.0316
1.0	0.9912	0.0448	0.9898	0.0447	0.9883	0.0447	0.9826	0.0446
1.5	0.9868	0.0547	0.9852	0.0547	0.9834	0.0546	0.9769	0.0496
2.0	0.9825	0.0630	0.9807	0.0629	0.9786	0.0629	0.9715	0.0495

3. Spektral analiz kullanarak rastgele uyarma sistemi yanıtı

İstatistiksel doğrusallaştırma yoluyla elde edilen eşdeğer sönümlemenin etkinliğini doğrulamakla ilgileniyoruz. İki yöntemin spektral analizi yapılarak, yani doğrusal olmayan sistem kullanılarak geçici yanıt ve doğrusallaştırılmış sistem (eşdeğer) tarafından elde edilen frekans yanıt fonksiyonu kullanılarak bir karşılaştırma yapılır. İki yöntem Şekil 5'te gösterilen diyagramda özetlenmiştir.



Şekil 5: Doğrusallaştırılmış durum için frekans yanıt fonksiyonundan ve doğrusal olmayan durum için sayısal entegrasyondan elde edilen PSD yanıtı $S_{yy}(\omega)$.

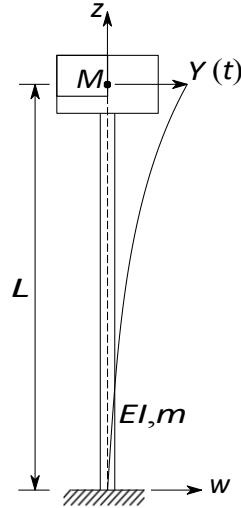
Diyagramın alt yolu ile gösterilen ilk yöntem PSD $S_{ff}(\omega)$ modelini seçmekle başlar, ardından Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) işlemi yapılarak zaman alanında rastgele uyarım $f(t)$ elde edilebilir. Daha sonra, yer değiştirme $y(t)$, 4th dereceli Runge Kutta kullanılarak hareket denklemi çözülerek hesaplanır. Yanıt PSD $S_{yy}(\omega)$ son olarak periyodogram aracılığıyla elde edilir [10].

Bir sonraki yöntem diyagramın üst yolu ile gösterilmektedir. Bu durumda, frekans yanıt fonksiyonu $H(\omega)$ 'yi elde etmek için eşdeğer sönümlemeyi kullandık ve zorlama PSD'sinden yanıt PSD'sini elde etmek için stokastik analizin en güçlü denklemlerinden biri olan $S_{yy} = |H(\omega)|^2 S_{ff}$ [10]'u kullanabiliriz. Bu doğrusal sistem denkleminde doğrudan tepki spektrumu elde edilebilir ve bu yöntemin nispeten basit olduğunu ve daha az hesaplama gücü gerektirdiğini fark etmek mümkündür, dolayısıyla eşdeğer sönümlemeyi bulmak için yapılan tüm çalışmaların nedeni budur.

4. Sayısal sonuçlar

Murtagh Basu ve Broderick [13, 14] rüzgar türbininin konsol olarak basitleştirilmiş bir modelini sunmaktadır (Şekil 6). Bu basitleştirme Avila ve diğerleri [15] tarafından bir serbestlik dereceli (1DoF) modele indirgenmiştir. Murtagh Basu ve Broderick [13, 14] rüzgar türbininin yapısal özelliklerini kullanarak

ve 1DoF modeline indirgendiğinde [15], kulenin eşdeğer kütesini ve eşdeğer rijitliğini aşağıdaki gibi elde etmek mümkündür



Şekil 6: Rüzgar türbininin basitleştirilmiş yapısal modeli [15].

$$K^* = \frac{\pi^4}{32L^3} EI, \quad (11)$$

$$M^* = \frac{mL}{2\pi} \pi^3 + 2 \frac{Le}{L} - 8, \quad (12)$$

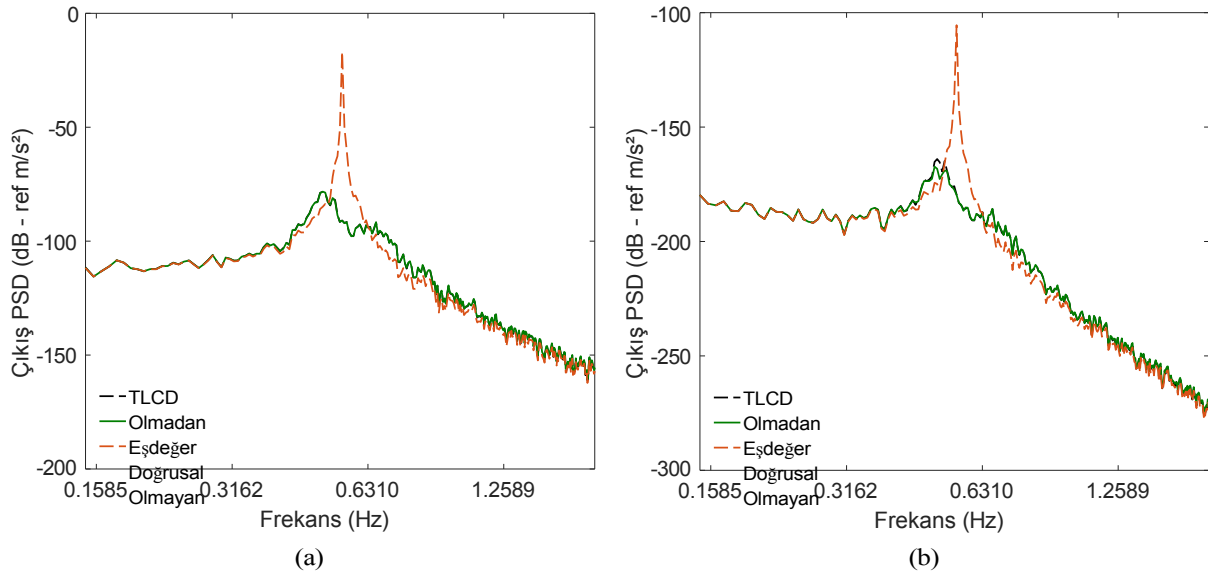
Burada m kiriş uzunluğu başına kütle ve M kirişin tepesindeki noktasal kütle, w

E ve I sırasıyla elastisite modülü ve atalet momentidir. Kule uzunluğu L 'dir ve eşdeğer kule uzunluğu Le , $M = mL_e$ olarak tanımlanır. Rüzgar türbini 60 m göbek yüksekliğine, 3 m genişliğe ve 0.015 m kalınlığa sahip çelik bir kuleye sahiptir.

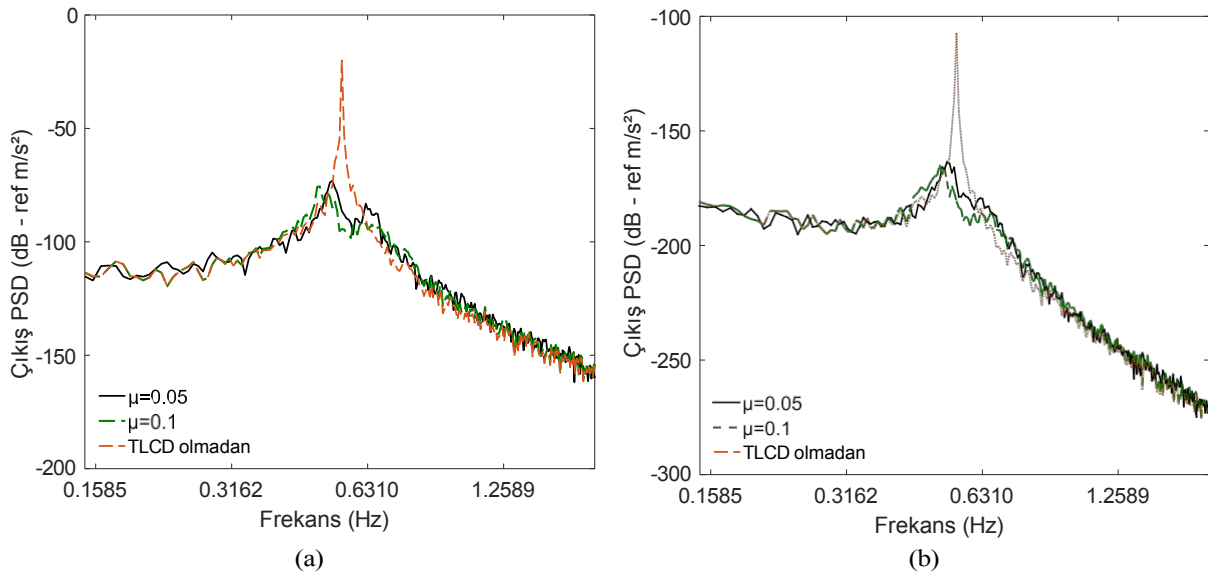
Elastisite modülü $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ve çeliğin yoğunluğu $\rho = 7,850 \text{ kg/m}^3$ 'dir. Rotor kütle $M = 19,876 \text{ kg}$ 'dır. Bu veriler (11) ve (12)'de kullanılarak ve boyutsuz parametre uzunluk oranı $\alpha = 0,9$ ve $\nu = 0,1$ kullanılarak $\omega_e = 3,6450$ ve $\zeta_e = 0,0018$ elde edilebilir.

Şekil 7'de sunulan sonuçlar, iki giriş PSD uyarımı, Şekil 7(a)'da $S_0 = 1$ ile beyaz gürültü ve 7(b)'de FOF için referans olarak iki yöntemi ve emici olmayan durumu göstermektedir. İki yöntem arasında iyi bir yaklaşımın yanı sıra TLCD'siz durumla karşılaştırıldığında iyi bir titreşim dağılımı gözlemlenebilir. Yüksek frekanslar için eşdeğer ve doğrusal olmayan modeller arasında küçük bir fark vardır. Bu fark sayısal yaklaşımlarla açıklanabilir ve ilgilenilen bölgede büyük bir rahatsızlığa neden olmaz, yani rezonans tepe noktası arızanın meydana geldiği alanın dışındadır. Şekil 8, her iki PSD durumunda farklı kütle oranı değerleri için PSD yanıtını göstermektedir. TLCD'siz durumla karşılaştırıldığında iyi bir titreşim emilimi fark edilebilir, ancak kütle oranının değişiminde önemli bir fark yoktur. Fiziksel olarak, $\mu = 0.1$ 'den daha büyük kütle oranı ilginç olmayacaktır çünkü emicinin kütlesi çok büyük ve gerçek uygulamalarda pratik olmayacaktır.

Şekil 9 ve Şekil 10 sırasıyla PSD uyarımı, beyaz gürültü ve FOF girişine maruz kaldığında μ kütle oranının farklı değerleri için yapı yer değiştirmesinin zaman içindeki gelişimini göstermektedir. Şekil 9'da gösterilen beyaz gürültü PSD uyarımı için, TLCD eklendiğinde ana yapının ortalama karesel yer değiştirmesinde $\mu = 0,05$ için %3,46 ve $\mu = 0,1$ için %5,45 azalma olmuştur. Şekil 10'da gösterilen FOF PSD uyarımı için yer değiştirme değeri



Şekil 7: TLCD olmadan ve TLCD ile (a) beyaz gürültü ve (b) FOF rastgele uyarımına karşı ana sistem yanıtının PSD'si, istatistiksel doğrusallaştırma ve doğrusal olmayan sistemin sayısal entegrasyonu yoluyla elde edilmiştir.

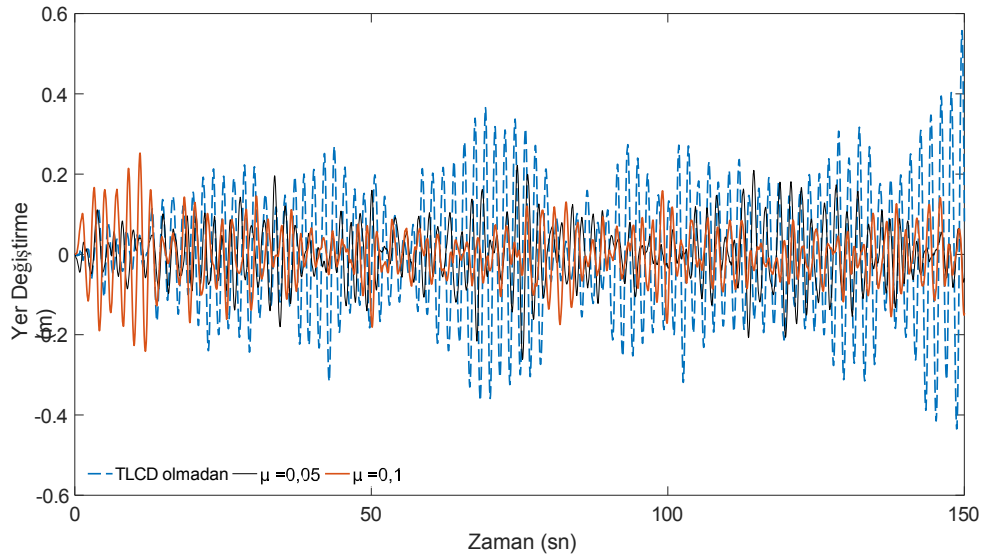


Şekil 8: Farklı kütle oranları için (a) beyaz gürültülü rastgele uyarıma ve (b) TLCD'siz ve TLCD'li FOF'a karşı ana sistemin PSD'si.

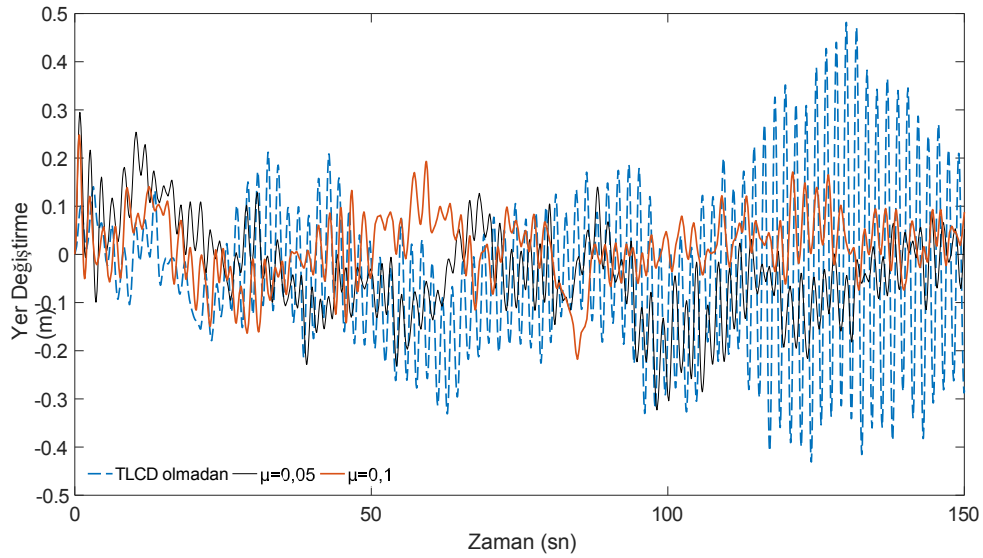
iki kütle oranı arasında önemli bir değişiklik göstermez. için %11,48'lik bir azalma olmuştur. $\mu = 0,05$ ve $\mu = 0,1$ için %11,49'dur.

5. Son açıklamalar

Bu çalışma, rüzgar türbinlerine uygulanan pasif ayarlı sıvı kolon sönümleyicisine odaklanmaktadır. Rüzgar türbinlerinde titreşim azaltma aracı olarak sönümleyici cihazların kullanımı giderek artmaktadır.



Şekil 9: μ kütle oranının farklı değerleri için yapısal yer değiştirmenin zamansal gelişimi beyaz gürültüye maruz bırakılmıştır.



Şekil 10: Kütle oranının farklı değerleri için yapısal yer değiştirmenin zamansal gelişimi μ FOF'a tabi tutulmuştur.

son yıllarda. Mevcut cihazların çeşitliliği arasında, nispeten düşük maliyeti ve iyi verimliliği nedeniyle TLCD'yi keşfetmeye karar verildi.

Önerilen analiz, doğrusal olmayan modeli eşdeğer doğrusallaştırılmış sistemle karşılaştırmanın yanı sıra TLCD'nin etkinliğini iki tür uyarım, beyaz gürültü filtresi ve birinci dereceden filtre kullanarak doğrulamayı amaçlamıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan model arasındaki karşılaştırma spektral analiz kullanılarak sunulmuştur. Elde edilen sonuç, ikisi arasında iyi bir yaklaşım olduğunu ve doğrusallaştırılmış yöntemin birçok endişe olmadan kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca, TLCD şunları göstermiştir

Hem beyaz gürültü PSD hem de FOF PSD rastgele uyarımı ile iyi enerji dağılımı. İkincisi, rüzgar yüklerini en iyi şekilde tanımladığı için daha tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Son olarak, TLCD, yer değiştirmeyi %3 ila 11 arasında azaltarak birincil yapıda önemli bir enerji dağılımı göstermiştir. Kütle oranının değişimine bağlı olarak enerji dağılımındaki etkiye ilişkin sonuçlar önemli değişiklikler göstermemiştir, sonuç olarak, yapının toplam ağırlığı üzerinde daha küçük bir etkiye sahip olacağından cihaz için mümkün olan en az kütleyi kullanmak daha mantıklıdır.

Modelin sağlamlığını doğrulamak için deneysel doğrulama, bu makalede tartışılanlar gibi diğer PSD'lerin kullanımı ve son olarak, geometrisinin karmaşıklığı ve daha fazla serbestlik derecesi göz önünde bulundurularak rüzgar türbini modelinin daha ayrıntılı bir analizini içeren daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

6. Teşekkür

Yazarlar CNPq ve MCTI'ye finansal destek için teşekkür eder (Süreç numarası 406895/2013-9).

Referanslar

- [1] Amarante O A, Brower M ve Zack J 2001 (Ministerio de Minas e Energia e Eletrobras)
- [2] Zuluaga A L 2007 Yüksek Lisans Tezi Brasilia Üniversitesi
- [3] Lima D V F 2009 Yüksek Lisans Tezi Brasilia Üniversitesi
- [4] Valencia L 2009 Yüksek Lisans Tezi Brasilia Üniversitesi
- [5] Colwell S ve Basu B 2009 *Mühendislik Yapıları* **31** 358-368
- [6] Lackner M A ve Rotea M A 2011 *Mekatronik* **21** 704-719
- [7] Farshidianfar A 2011 6. *Ulusal İnşaat Mühendisliği Kongresi, 6NCCE*
- [8] Roberts J B ve Spanos P D 2003 *Rastgele titreşim ve istatistiksel doğrusallaştırma* (Courier Corporation)
- [9] Yalla S K ve Kareem A 2000 *Yapı Mühendisliği Dergisi* **126** 906-915
- [10] Newland D E 2012 *Rastgele titreşimlere giriş, spektral ve dalgacık analizi* (Courier Corporation)
- [11] Kaasen K E ve diğerleri 1999 *Dokuzuncu Uluslararası Açık Deniz ve Kutup Mühendisliği Konferansı* (International Society of Offshore and Polar Engineers)
- [12] Thr'ainsson H, Kiremidjian A S ve Winterstein S R 2000 *Deprem yer hareketinin frekans alanında modellenmesi* (John A. Blume Deprem Mühendisliği Merkezi)
- [13] Murtagh P, Basu B ve Broderick B 2004 *Computers & structures* **82** 1745-1750
- [14] Murtagh P, Basu B ve Broderick B 2005 *Mühendislik yapıları* **27** 1209-1219
- [15] Avila S M, Barcelos M, Morais M V G, Shzu M A M ve Silva R C 2009 20. *Uluslararası Makine Mühendisliği Kongresi COBEM*