

# YÜKSEK KATLI DÜZENSİZ GEOMETRİLİ DIAGRID YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ DENEYSEL VE NÜMERİK ANALİZİ

<sup>1</sup>İlker Çimen, <sup>2</sup>Serap Hanbay and <sup>3</sup>Savaş Erdem  
<sup>1</sup>İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
<sup>2</sup>Rutgers Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, New Jersey, ABD  
<sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

## Özet

*Deprem, yıkıcı özelliği en fazla olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Bu nedenle depremde oluşacak can ve mal kayıplarını en aza indirmek amacıyla inşaat mühendisliğinde depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramı ortaya çıkmıştır ve yapıların deprem performansları analizi önem kazanmıştır. Özellikle düzensiz geometriye sahip ve/veya çok katlı yapılar için dinamik analiz yapılması gereklidir. Bu çalışmada düzensiz geometriye sahip bir yüksek katlı yapının nümerik olarak zaman tanım alanında deprem analizi gerçekleştirilmiş ve balsa çitallerından yapılmış yapı modeline deneysel olarak sarsma masası testi uygulanmıştır. Balsa malzemesi hafif olmasının yanı sıra uygun dayanım ve enerji sönmülme özelliğine sahiptir. Bu özellikler ise malzemenin mikro yapısında bulunan trakeler ve bu trakeleri eşit aralıklarla kesen doğrusal olarak sıralanmış parankimalardan türemektedir. Ayrıca yapı modelinde çok katlı yapılar için hem estetik hem de strüktürel yeterliliği sağlayan diagrid sistem tercih edilmiştir. Çalışmada deneysel ve nümerik analiz sonuçları ivme ve çatı deplasman parametreleriyle kıyaslanmıştır. Birinci deprem kaydı kullanıldığında deneysel sonuçlar nümerik sonuçlardan daha yüksek bulunmuştur; ancak, karakteristik özelliği birinci depremden farklı olan ikinci deprem kaydı deneysel modele uygulandığında elde edilen ivme değerinin nümerik modelden daha az olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, ikinci deprem kaydı kullanıldığında elde edilen çatı deplasmanının deneysel ve nümerik sonuçları ise büyük bir uyum içindedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, Diagrid Sistemler, Düzensiz Yapılar, Balsa

## Abstract

*Earthquake is one of the most devastating natural hazards. Because of it, the concept of earthquake resistant structural design in civil engineering has been arisen to reduce the loss of life and property due to earthquake, and the analysis of earthquake performance of structures has been gained importance. Especially, dynamic analysis of irregular and/or tall buildings is an obligatory. In this study, time history analysis of an irregular tall building has been made and shaking table test has been applied to the model of the structure constructed by balsa. Balsa has proper strength and damping properties apart from being a lightweight material. These properties come from its microstructure including trachea and linearly concatenated parenchyma which crosses trachea with equal spacing. Furthermore, diagrid system has been chosen in the modelling of structure due to the esthetical and structural efficiency of the system. In the study, top floor accelerations and displacements obtained from numerical and experimental analyses have been compared with each other. Experimental analysis presented higher results than numerical one when the first earthquake record was used; however, experimental top acceleration value in the case of applying second earthquake, which has different characteristics than the first one, to the experimental model is lower than the numerical one. Otherwise, experimental and numerical values of top displacement were in very well agreement when the second earthquake record was used.*

**Key words:** Earthquake, Diagrid Systems, Irregular Structures, Balsa

## 1. Giriş

Doğal bir yer hareketinin sonucu olan deprem yüzyıllardır en çok yıkıma ve can kaybına sebep olan doğal felaketlerin başında gelmektedir. Bu nedenle depreme karşı dayanıklı yapıların inşa edilmesi hız kesmeden devam etmektedir. Son yıllarda yeni malzemeler ya da sistemler önerilmekte ve gerçeğe en yakın analitik çözümlerle depremin yapı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Analitik çözümün tek başına yeterli ve gerçekçi olması mümkün olmadığı için deneysel olarak da yapının deprem altındaki davranışının ayrıca gözlenmesi önerilmektedir. Yapı modelinin hazırlanarak sarsma masasında tahmini ya da beklenen deprem ivmesine denk bir ivme ile sarsılması sonucunda yapının deprem davranışı net bir şekilde gözlemlenebilir. Deneyde seçilecek olan malzemenin teknik özelliklerinin analitik çözümde kullanılarak sonuçların kıyaslanması mümkündür. Ayrıca, deneysel analiz sonuçlarına göre nümerik modelde iyileştirmeler yapılabilir. Literatürde son yıllarda herhangi bir yapının deprem performansının nümerik sonuçlarını sarsma masası yardımıyla deneysel olarak destekleyen birçok çalışma vardır. Bir çalışmada ahşap-çelik hibrit bir yapı Abaqus yardımıyla nümerik olarak analiz edildikten sonra büyük ölçekli bir sarsma tablasıyla deneysel olarak nümerik modelin doğrulaması yapılmıştır [1]. Diğer bir çalışmada betonarme bir model sarsma tablası kullanılarak maksimum ivme değeri 0.8g olan Loma Preita deprem dalgasına maruz bırakılmış ve OpenSEES kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile yapılan test simüle edilmiştir [2].

Tarihte kutsal ve anıtsal özellikler taşıyan yüksek katlı yapılar günümüzde büyüyen nüfusun etkisiyle artan konut ve işyeri ihtiyacını karşılamak üzere inşaat sektöründeki yerini sağlamlaştırmaktadır. Yapıların yatay yerine düşeyde yükselmesini sağlayan pek çok faktör vardır; örneğin, yüksek kalitede çelik profillerin üretilmesi, yüksek dayanımlı beton teknolojisindeki ilerlemeler, asansör, hidrofor ve havalandırma sistemlerinin gelişmesi, kalıp teknolojisindeki gelişmeler, deprem yer hareketlerine göre analiz ve tasarım yöntemlerinin gelişmesi, bilgisayarların ve bilgisayar programlarının gelişmesi vb. Ancak bu yapılarda mimarların sadece fonksiyonelliği ve estetik görüşü önemsemesi, mimar ve mühendis iş birliğinin yoksunluğu, arsanın düzensizliği, yapımcının projeye uymaması, taşıyıcı sistem seçimine yeterli zamanın ayrılmaması ve denetim yetersizliği gibi sebeplerden ötürü yapıların düzensiz geometri ile inşa edilmesi söz konusu olabilmektedir. Bu düzensizlik, yapının deprem performansını önemli ölçüde değiştirebilir ve beklenenden farklı bir davranış göstermesi sonucu ciddi hasarlara sebep olabilir. Bu nedenle düzensiz geometriye sahip yüksek yapıların deprem performansları çok daha fazla önem arz etmektedir ve tüm yüksek katlı yapılarda deprem dışında rüzgâr yükünün de etkisi göz önüne alınmalıdır. Son yıllarda mimari gerekçelerle önemli ölçüde düşey süreksizliğe sahip bir yüksek katlı yapının performans dayalı lineer elastik ve zaman tanım alanında deprem analizi yapıldığı bir durum çalışması literatürde mevcuttur [3].

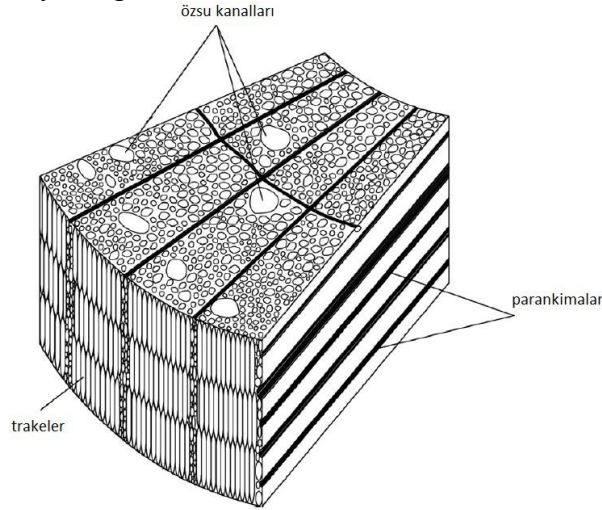
Yüksek katlı yapılarda diagrid sistemlerin kullanımı malzemeden tasarruf sağlamaları, bina ağırlığını azaltarak temele inen yükü azaltmaları, daha az sayıda işçi ile tamamlanmaları ve atmosfere daha az karbon salınımı yapmaları sebepleriyle artmaktadır. Diagrid sistemlerde, üçgenlere bölünme mantığıyla düşey kolonlara gerek kalmadan çapraz (diyagonal) kirişlerle yük aktarımı yapılmaktadır. Yüksek yapılarda kullanılan diagrid sistemlerin, optimum gridal geometriye sahip olarak tasarlanması, düğüm noktalarının doğru açılarla konfigüre edilmesi, modülasyon ve prefabrikasyonun sağlanarak kısa zamanda seri üretim yapılabilmesi ile strüktürel verimliliği sağlanabilmektedir. Ayrıca strüktürel yeterliliklerinin yanı sıra estetik görünüşleri de diagrid sistemlerin tercih edilme sebeplerinden birini teşkil etmektedir [4]. Dünya üzerinde Swiss

Re (Londra), Hearst Tower (New York), Cyclone Tower (Kore), Capital Gate Tower (Abu Dabi) ve Jinling Tower (Çin) en popüler olan diagrid sistemlerdir [5].

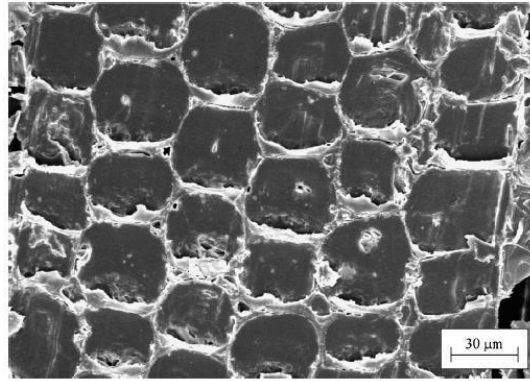
Bu çalışmada düşey düzensizliğe sahip çok katlı diagrid bir yapının deprem performansı hem nümerik hem de deneysel olarak sarsma tablası yardımıyla incelenmiştir. Yapının nümerik modeli bir sonlu elemanlar programı olan SAP2000’de yapılmış olup, yapı deneysel modelinde balsa kullanılmıştır. Nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmış, ayrıca analizler sonucu bulunan deplasman değerleri ve periyodun göreceli olarak diğer sistemlerin ortalama değerlerinden küçük olması dolayısıyla sistemin çok katlı yapılar için uygun olduğu doğrulanmıştır. Deneysel modelinde kullanılan balsaın teknik detayları sunularak, bu malzemenin yapı deneysel modellerinde kullanımının uygunluğu ayrıca belirtilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Deneysel model yapımında Birch ağacından yapılmış dairesel kesitli ayous çıtlar ve kaplamada kullanılan luory çıtlar, manzonia ağacından imal edilen manzonia çıtlar, koyu renkli olup sapelly ağacından üretilen sapelly çıtları ve dünyanın en hafif kerestesi olan balsa çıtları kullanılabilir. Bu çalışmada hafifliğine karşın mevcut dayanım ve enerji sönümlenme özelliğinden dolayı balsa tercih edilmiştir. Balsa ağacı mükemmel bir sertlik – ağırlık ve dayanım – ağırlık oranına sahip, aynı zamanda da yüksek enerji sönümlenme karakteristiğine sahip hücresel doğal bir materyaldir. Bu özellikler, malzemenin mikro yapısından türemektedir. Mikro yapıda ise Şekil 1’de görüldüğü gibi yaklaşık olarak altıgen kesitli ve yan yana hizalı uzun ince hücreler (trakeler) ve bu trakeleri eşit aralıklarla kesen doğrusal olarak sıralanmış parankimallar (rays) bulunmaktadır [6]. Trakelerin üstten görünüşü Şekil 2’de ayrıca görülmektedir.

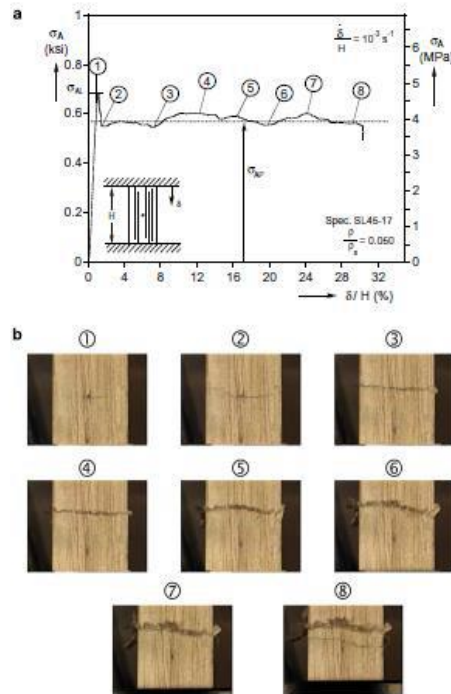


Şekil 1. Balsa ağacının mikro yapısının idealize edilmiş şekli [7]



Şekil 2. Trakelerin üstten görünüşü [7]

Eksenel basınç altında balsalar, lineer elastik şekil değişimine uğrar, bu şekil değiştirme ile oluşan bölgesel bükülme hareketleri ilerleyerek kırılma ile son bulur. Eksenel şekil değiştirmesi engellenmiş balsanın ezilme tepkileri ve hücrelerin ezilmesi ile meydana gelen hasar halkası (stress plateau) Şekil 3’de görülmektedir [8]. Balsalar eksenel olmayan yüklemeler karşısında ise çok daha zayıftır. Çünkü bu yönlerde yapılan sıkıştırmalarda trakeler boyuna doğrultuda kırılır ve bu tepki, diğer elastik petek kesitlerde olduğu gibi sabit olarak artar [8].



Şekil 3. Eksenel şekil değiştirmesi engellenmiş balsanın ezilme tepkileri [7]

Materyalin elastik ve plastik özellikleri deneysel olarak ağacın yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak tespit edilmiştir. Malzemenin mikro yapısı ve basınç altındaki deformasyon modelleri elektron mikroskobu ile yapılan taramalarla karakterize edilmiştir [8].

$$\frac{E_A}{E_S} = \frac{\rho}{\rho_s} \text{ Denklem (1)}$$

$E_A$  = Başlangıçtaki elastisite modülü

$E_S$  = Trakelerin elastisite modülü

Silva ve Kyriakides Farklı balsa yoğunluklarına göre elastisite modüllerini Tablo 1’de görüldüğü gibi sunmaktadır [7].

**Tablo 1.** Farklı balsa yoğunluklarına göre elastisite modülleri [7]

$\rho_a/\rho_s$	$E_A$ ksi (GPa)
0.043	88(0.61)
0.079	289(1.99)
0.097	441(3.04)
0.128	815(5.62)
0.158	960(6.62)

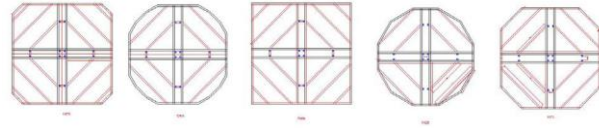
Eksenel yönde yapılan testlerin çoğulunda göçmenin, eksenel teğet düzlemdeki bükülmelerle başladığı gözlenmiştir. Parankimaların, trakeleri kestiği bölgelerdeki  $4^0$ - $10^0$ ’lik bölgesel düzensizlikler nedeniyle, uygulanan eksenel yük altında bu bölgelerde kayma kuvveti oluşur.

Enerji sönmüleme karakteristiği de ölçülmüş ve aynı relatif yoğunluğa sahip metalik petek modellerle karşılaştırabilir seviyede olduğu görülmüştür [8].

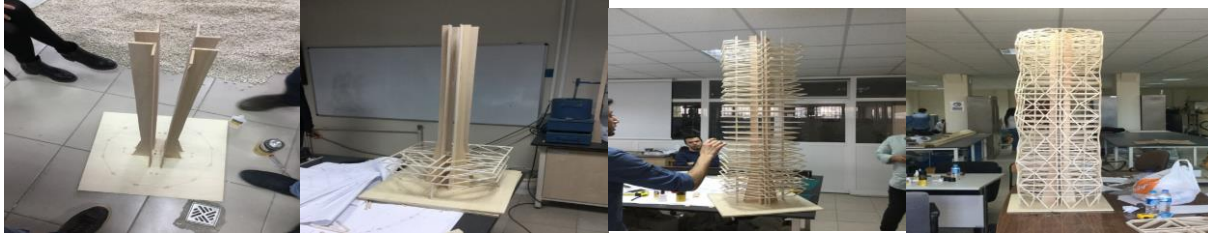
### 2.1. Deney Modeli ve Sarsma Masası Testi

Deney modeli, şekil olarak diagrid strüktürlerden yani üç ekseninde çalışan üçgen çubuk elemanlardan oluşan bir kabuk yapı ve onu destekleyen kolon ve kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Model uygulamada pek çok yeniliği beraberinde getirmektedir. Kullanılan strüktürel elemanların azaltılmasına paralel olarak, yapı içinde kolonların bina merkezine yakın yerde ve çok az sayıda kullanılması, yapının serbest planlı ve esnek tasarlanmasını sağlayarak, tasarımcılar için uygun çözümler oluşturulmasına imkân verebilmektedir. Dış kabuğu oluşturan üçgen elemanlar şehrin herhangi bir noktasında kurulacak olan bir imalathanede üretilerek inşaat sahasına getirilebilir ve yerinde montaj tekniği ile yapı hızlı ve güvenli olarak inşa edilebilir. Bu sayede İstanbul gibi kalabalık kentlerin en işlek noktalarından birindeki bir inşaat faaliyetinin en büyük sorunlardan biri olan şantiyeye malzeme giriş çıkış sıkıntısı çözümlenmiş olur.

Tasarlanan model Şekil 4’te görüldüğü gibi 5 farklı kat planı içermektedir. Model toplamda 41717 cm<sup>2</sup> kat alanına sahiptir. Zemin kat yüksekliğini 100 mm (kat düzleminden komşu kat düzlemine) ve kalan 29 katın kat yüksekliği ise 50 mm’dir. Model toplamda 30 kattan oluşmaktadır ve yapı yüksekliği 1550 mm’dir. Toplam kolon sayısı diagrid sistemin sağladığı avantaj ile sadece 8 adettir. Merkez bölgeye 4 adet L şeklinde perde konumlandırılmıştır. Model yapım aşamaları Şekil 5’te görülmektedir.



Şekil 4. Kat Planları



Şekil 5. Deney modeli yapım aşamaları

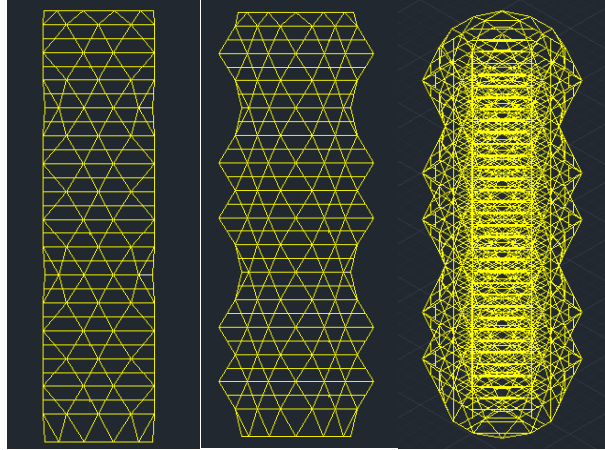
Nümerik analiz sonuçlarının karşılaştırılması ve modelin deprem performansının gözlemlenebilmesi için Şekil 6'da görülen sarsma masası deneyi gerçekleştirildi. Model nümerik analizde de kullanılacak olan üç adet ölçeklendirilmiş veya modifiye edilmiş kuvvetli yer hareketine tabi tutulmuştur. Ancak ivme ölçümleri almak üzere modele yerleştirilen ivmeölçerler ilk iki deprem etkisinde yapıda bulunurken, maksimum ivmeye sahip olan üçüncü depremin uygulanması esnasında ise kaldırılmıştır. Bu büyüklükte bir deprem ivmesinin uygulanması esnasında ivmeölçerlerin uygun bir sonuç alamayacağı öngörülmüş ve cihazların zarar görmesi de bu yolla engellenmiştir.



Şekil 6. Sarsma Masası Testi

## 2.2. Model Nümerik Analizi

Maketi yapılan diagrid yapı ilk olarak AutoCAD programı kullanılarak modellenmiş ve bir sonlu elemanlar programı olan SAP2000'e aktarılmıştır. Yapının AutoCAD modeli Şekil 7'de mevcuttur.



Şekil 7. Yapı AutoCAD modeli

DASK Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı 2017 şartnamesinden alınan ve deprem analizinde kullanılan deprem düzeyleri ve spektral ivme katsayıları Tablo 2'de, depremlerin geri dönüş periyotları ise Tablo 3'de verilmiştir [9].

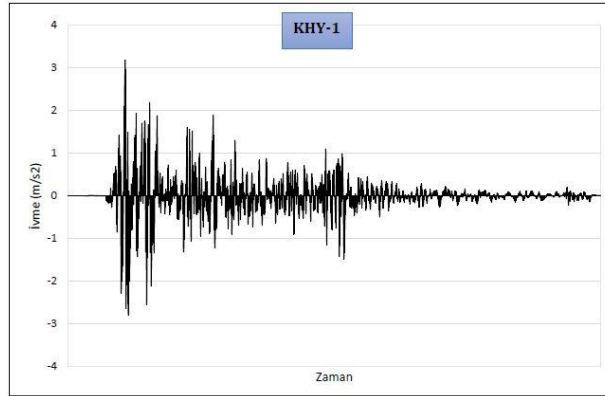
**Tablo 2.** Deprem düzeyleri ve spektral ivme katsayıları [9]

Deprem Düzeyi	$S_{MS}$ ( $m/s^2$ )	$S_{M1}$ ( $m/s^2$ )
D1	3.81	2.44
D2	7.16	4.46
D3	9.45	6.09

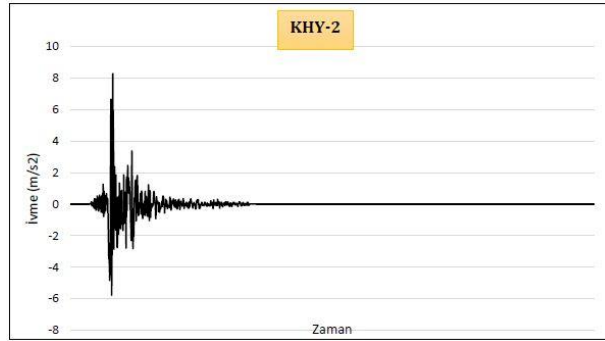
**Tablo 3.** Depremlerin geri dönüş periyotları [9]

Kuvvetli Yer Hareketi	Tekrarlanma Periyodu (Yıl)
KYH-1	72
KYH-2	475
KYH-3	2475

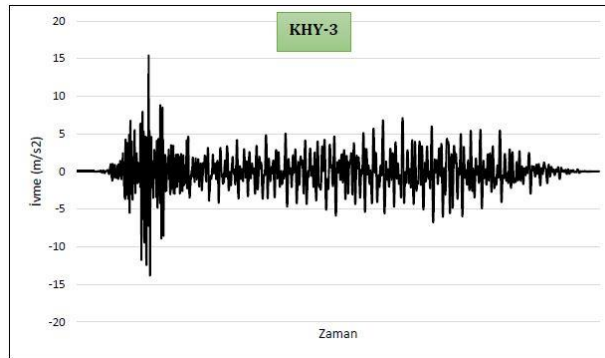
Ayrıca analizde kullanılan depremlerin ivme-zaman grafikleri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla sunulmuştur.



Şekil 8. KHY-1 depreminin ivme-zaman grafiđi [9]



Şekil 9. KHY-2 depreminin ivme-zaman grafiđi [9]



Şekil 10. KHY-3 depreminin ivme-zaman grafiđi [9]

### 3. Sonuçlar

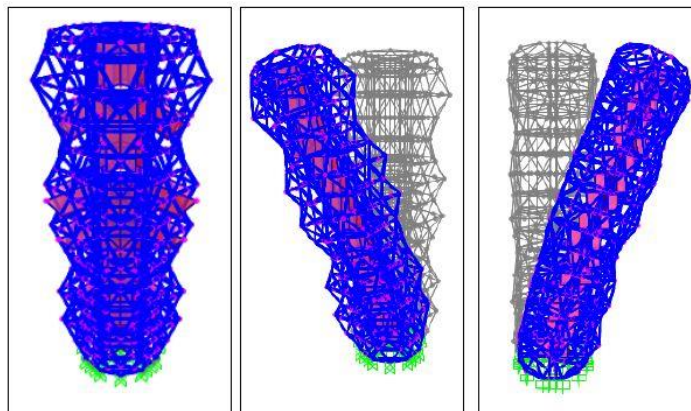
#### 3.1. Nümerik Analiz Sonuçları

SAP2000'de oluşturulan modele ait modal periyot ve frekans değerleri Tablo 4'te belirtilmiş olup yapının ilk üç moduna ait mod şekilleri Şekil 11'de gösterilmiştir.



**Tablo 4.** Modele ait modal periyot ve frekans değerleri

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec
MODAL	Mode	1	0.0632	15.8219	99.4117	9882.6855
MODAL	Mode	2	0.0632	15.8219	99.4121	9882.7645
MODAL	Mode	3	0.0325	30.7359	193.1195	97295.1561
MODAL	Mode	4	0.0325	30.8059	193.5591	37465.1418
MODAL	Mode	5	0.0324	30.8531	193.8558	37580.0602
MODAL	Mode	6	0.0322	31.0583	195.1453	38081.6744
MODAL	Mode	7	0.0322	31.0827	195.2985	38141.5028
MODAL	Mode	8	0.0320	31.2484	196.3393	38549.1202
MODAL	Mode	9	0.0319	31.3089	196.7198	38698.6846
MODAL	Mode	10	0.0319	31.3203	196.7915	38726.9037
MODAL	Mode	11	0.0318	31.4184	197.4077	38969.8082
MODAL	Mode	12	0.0277	36.1443	227.1016	51575.1197

**Şekil 11.** Yapının ilk üç mod şekilleri

SAP2000 analizi sonucu elde edilen çatı deplasman ve ivme değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Sap2000 Sonuçları

	KHY-1	KHY-2
Çatı Deplasmanı	4.37 mm	13.2 mm
İvme	7.21 m/s <sup>2</sup>	19.46 m/s <sup>2</sup>

SAP2000'de yapılan deprem analizinde daha az yapısal eleman kullanmamıza olanak sağlayan diagrid taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerden oluşan klasik sistemlere nazaran daha rijit olduğu anlaşılmıştır. Çünkü aynı kat sayısına sahip diğer sistemlerle oluşturulan çok katlı yapılara göre periyodu beklenenden daha az çıkmıştır. Bu nedenle oluşturulan taşıyıcı sistemin deprem etkisi karşısında diğer taşıyıcı sistemlere göre her açıdan daha iyi olduğu saptanmıştır. Ayrıca x doğrultusunda verilen deprem ivme verileri sonucunda x doğrultusundaki deplasmanların 1. Modda daha fazla olduğu gözlenmiştir.

### 3.2. Sarsma Masası Testi Sonuçları

Sarsma masası testi sonucu elde edilen ivme, çatı deplasmanı ve periyod değerleri Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Sarsma Masası Testi Sonuçları

Sarsma Tablası Sonuçları			
	KHY1	KHY2	KHY3
Deplasman	15.9 mm	13.2mm	67.23mm
İvme	10.791 m/s <sup>2</sup>	8.73m/s <sup>2</sup>	25.4 m/s <sup>2</sup>
Maket Periyodu		0.2sn	
Maket Frekansı		5 Hz	

### 3.3. Sonuçların Karşılaştırılması

Sarsma testi sonucu elde edilen çatı deplasmanı ve ivme değerleri ile SAP2000 nümerik analiz sonuçlarının karşılaştırması Tablo 7’de görülmektedir.

**Tablo 7:** Yapısal davranış parametreleri

	Deneysel	Nümerik
KHY1		
Çatı Deplasmanı	15.9 mm	4.37 mm
İvme	10.791 m/s <sup>2</sup>	7.21 m/s <sup>2</sup>
KHY2		
Çatı Deplasmanı	13.2 mm	13.2 mm
İvme	8.73 m/s <sup>2</sup>	19.46 m/s <sup>2</sup>

Maksimum ivme değeri diğerlerine göre daha düşük olan KHY1 deprem ivmesi yapıya uygulandığında deneysel sonuçların nümerik sonuçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç deney modelinde yatay kuvvetleri ilk karşılayan döşeme gibi yapı elemanlarının bulunmayışına bağlanabilir. Deneysel modelin gerçek yapıyı birebir yansıtmadığı gerçeği yadsınamamaktadır. Ayrıca maksimum ivme değeri daha büyük ve etki süresi kısa olan KHY2 deprem kaydı uygulandığında ise deneysel ve nümerik olarak elde edilen deplasman değerlerinin birbirleriyle tamamen uyum içinde olduğu görülmüştür. KHY2 depreminden elde edilen sonuçların KHY1’den daha düşük çıkması ikinci deprem kaydının karakteristik özelliklerinin farklılığına bağlanabilir.

Analizi yapılan modelin diagrid sistem olmasından dolayı diğer sistemlere göre periyot ve oluşan deplasman değerleri daha küçük çıkmıştır. Bu sonuçlar diagrid sistemin yüksek yapılarda diğer sistemlere göre daha kullanılabilir olmasını doğrular niteliktedir.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Referanslar

- [1] He M., Luo Q., Li Z., Dong H., Li M., (2018). Seismic performance evaluation of timber-steel hybrid structure through large-scale shaking table tests, *Engineering Structures* 175, 483–500.
- [2] Hou S., Zhang H., Han X., Ou J., (2017). Damage monitoring of the RC frame shaking table test and comparison with FEM results, 6th International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, PROTECT2017, 11-12 December, Guangzhou (Canton), China.
- [3] Özüygür A. R., (2016). Performance-based Seismic Design of an Irregular Tall Building — A Case Study, *Structures* 5, 112–122.
- [4] Tomei V., Imbimbo M., Mele E., (2018). Optimization of structural patterns for tall buildings: The case of diagrid, *Engineering Structures* 171, 280–297.
- [5] Jani K., Patel P.V., (2013). Analysis and Design of Diagrid Structural System for High Rise Steel Buildings, *Procedia Engineering* 51, 92 – 100.
- [6] Dinwoodie J.M., (2000). *Timber: its Nature and Behaviour*, E & FN Spon, London, 256 pp.
- [7] Silva A., Kyriakides S., (2007). Compressive response and failure of balsa wood, *International Journal of Solids and Structures* 44, 8685–8717.
- [8] Akkerman, M., 2005. Microstructural aspects and mechanical response and failure of balsa wood. MS Thesis, Aerospace Engineering, University of Texas at Austin, MSSM Rep. No. 05/08.
- [9] DASK Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı Şartnamesi (2017).