

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**GEOMETRİK PLAN ŞEKİLLERİ VE KARMAŞIK FORMLARIN
DİAGRİD SİSTEMLİ BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN
DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emrah METİN

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı**

AĞUSTOS, 2021

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**GEOMETRİK PLAN ŞEKİLLERİ VE KARMAŞIK FORMLARIN
DİAGRİD SİSTEMLİ BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN
DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emrah METİN
(Y1913.090021)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sepanta NAİMİ

AĞUSTOS, 2021

ONAY FORMU

ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Geometrik Plan Şekilleri ve Karmaşık Formların Diagrid Sistemli Binaların Doğrusal Olmayan Davranışına Etkisi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.
(05/08/2021)

Emrah METİN

ÖNSÖZ

Tez çalışmasını yürüttüğüm zaman zarfında bilgi ve birikimi ile yol gösterici olan Sayın Doç. Dr. Sepanta NAİMİ' e şükranlarımı sunarım. Son olarak, eğitim hayatım boyunca bana kalbi ve maddi desteğini esirgemeyen ailemin şükranların en büyüğüne layık olduğunu belirtmek isterim.

Ağustos, 2021

Emrah METİN

GEOMETRİK PLAN ŞEKİLLERİ VE KARMAŞIK FORMLARIN DİAGRID SİSTEMLİ BİNALARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Son yıllarda, yüksek katlı binalarda yapı performansının optimizasyonu ve estetik kaygıların getirisi olan karmaşık formlar ve birbirine dik olmayan cephelerin yaygın kullanımı görülmektedir. Yüksek katlı binalardaki yapısal sistemlerin seçiminde diagrid sistemler; yapısındaki üçgen mozaığın doğasından gelen yapısal verimliliği, karmaşık formların tasarımına uygun modülerliği ve diğer geleneksel sistemlere göre avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Dünya üzerinde önemli örnekleri görülse de sismik tasarım kodlarında diagrid yapılar ile alakalı özel sismik değerlendirmeler bulunmamaktadır. Bu durum, yapısal tasarımında hangi tamamlayıcı tasarım kriterinin seçileceği gibi belirsizliklere sebep olmaktadır.

Bu çalışmada diagrid yapıların ön tasarımı, yapısal analizi ve tasarım kriterleri gibi konulara detaylı şekilde değinilmiştir. Çelik diagrid binalardaki sismik performansa farklı eğilme açıları, geometrik plan şekilleri ve iç diagrid yapısal çekirdek varlığının etkileri üzerine bir araştırma yürütülmüştür. Bu amaçla oluşturulan 36 katlı 6 diagrid bina modeli üzerinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan parametrik yapısal modeller, karmaşık yapı formlarının tasarımına uygun algoritmaya dayalı bir prosedür izlenerek oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ile çeşitli çıkarımlar sunulmuştur.

Dairesel planlı diagrid model, kare plan şekline sahip geleneksel modele kıyasla deprem hareketleri altında daha düzensiz deformasyon dağılımı göstermektedir. Ancak, dairesele planlı geleneksel modelin sahip olduğu daha düşük kesme gecikme etkisi yanal kuvvetlere karşı daha verimli dayanım sağlar.

Benimsenen tasarım kriterlerinin, bu çalışmada oluşturulan modellerin tasarımına uygun olduğu söylenebilir. Diagrid yapı formlarının, belirli bir eğimle oluşturulması veya eğim açısının arttırılmasıyla; yanal yük direnç kapasitesi artmaktadır. Çift katmanlı diagrid bina modelleri, rijitlik ve dayanım taleplerinin karşılanması

açısından geleneksel modellere kıyasla daha verimlidir. İ ve dış diagrid ereve arasındaki yanal rijitlik direnci kaydırılabilir. Böylece, iç diagrid çekirdeğinin yanal yük direncine katkısı ile verimlilik arttırılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Diagrid Yapısal Sistemler, Doğrusal Olmayan Davranış, Parametrik Modelleme, Sismik Performans

**INFLUENCE OF GEOMETRICAL PLAN SHAPES AND COMPLEX
FORMS ON THE NONLINEAR BEHAVIOR OF DIAGRID SYSTEM
BUILDINGS**

ABSTRACT

In recent years, there has been occur widespread use of complex forms and non-perpendicular facades in high-rise buildings, which are the result of optimization of building performance and aesthetic concerns. In the selection of structural systems in high-rise buildings, diagrid systems become prominent with their structural efficiency by nature of the triangular mosaic in their structure, their modularity suitable for the design of complex forms, and their advantages according to other traditional systems. Although there are important examples in the world, there are no particular seismic evaluations related to diagrid structures in seismic design codes. This situation causes uncertainties such as which complementary design criteria will be selected in the structural design.

In present study, topics such as preliminary design, structural analysis and design criteria of diagrid structures are mentioned in detail. A research was conducted on the effects of different tilt angles, geometric plan shapes and the existing of internal diagrid structural core on seismic performance of steel diagrid buildings. For this purpose, nonlinear static and dynamic analyses were performed on the 36-story 6 diagrid building model. Parametric structural models used in the analyses were created by following an algorithm-based procedure suitable for the design of complex building forms. Several inferences are presented by the comparative evaluation of the analysis results.

The circular diagrid model indicates more irregular deformation distribution under earthquake motions compared to the conventional model with a square plan shape. However, the lower shear delay effect of the conventional model with circular plan provides more efficient strength to lateral forces.

The design criteria adopted are suitable for the design of the models created in this study. If we create diagrid building forms with a certain tilt or increase the angle of

tilt, the lateral load resistance capacity increases. Double layer diagrid building models are more efficient in terms of satisfying stiffness and strength demands compared to conventional models. The lateral stiffness resistance between the internal and external diagrid frame can be shifted. Thus, efficiency can be increased by the contribution of the internal diagrid core to the lateral load resistance.

Keywords: Diagrid Structural Systems, Nonlinear Behaviour, Parametric Modelling, Seismic Performance.

İÇİNDEKİLER

ONUR SÖZÜ	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xvii
I. GİRİŞ.....	1
II. DİAGRİD YAPILAR.....	3
A. Genel Değerlendirme	3
B. Literatür İncelemesi	6
C. Tarihsel Gelişim	19
D. Ön Tasarım Yaklaşımları	21
E. Yapısal Analiz.....	25
1. Modüler Metot.....	25
2. Matris Tabanlı Metot.....	27
III. MODELLERİN TANIMLANMASI VE TASARIMI	31
A. Parametrik Modelleme	31
B. Model Özellikleri	32
C. Modellerin Yapısal Tasarımı.....	36
IV. MODELLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ	40
A. Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Modellemesi.....	40
B. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi	41
C. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizi	42
V. ANALİZ BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	44
A. Modal Özellikler	44
B. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Bulguları.....	45
C. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizi Bulguları	46

VI. SONUÇLAR	50
VII. KAYNAKÇA	52
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	61

KISALTMALAR LİSTESİ

AISC	: American Institute of Steel Construction
ANS	: American National Standard
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASCES	: American Society of Civil Engineers Standard
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CP	: Göçme Önleme
DPG	: Dairesel Planlı Geleneksel
E3,97-KPÇK	: 3,97° Eğilme Açısına Sahip Kare Planlı Çift Katmanlı
E7,91-KPÇK	: 7,91° Eğilme Açısına Sahip Kare Planlı Çift Katmanlı
E3,97-KPG	: 3,97° Eğilme Açısına Sahip Kare Planlı Geleneksel
E7,91-KPG	: 7,91° Eğilme Açısına Sahip Kare Planlı Geleneksel
FEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IO	: Hemen Kullanım
KPG	: Kare Planlı Geleneksel
LS	: Can Güvenliği
MBM	: Matris Tabanlı Metot
MM	: Modüler Metot
OCBF	: Ordinary Concentrically Braced Frames
OMF	: Ordinary Moment Frames
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Center
PGA	: En Büyük Yer İvmesi
PGV	: En Büyük Yer Hızı
SCBF	: Special Concentrically Braced Frames

SEMBOLLER LİSTESİ

A	: Diyagonal en kesit alanı
A_{d,f}	: Flanş diyagonal elemanlarının en kesit alanı
A_{d,w}	: Gövde diyagonal elemanlarının en kesit alanı
B	: Yapı eni
B_i	: Tarafsız eksen ve diyagonaller arasındaki mesafe
C_d	: Defleksiyon büyütme katsayısı
d	: Plan ağırlık merkezinden modülün uzaklığı
D	: Diyagonal çapı
D*	: Ölü yükler
E	: Elastisite modülü
F_{m,k,G}	: Yerçekimi yüklerinin yapı şaftındaki m' inci modülünün k-ıncı üçgen şeması üzerinde oluşturduğu kuvvet
F_{m,k,M}	: Devrilme momentinin yapı şaftındaki m' inci modülünün k-ıncı üçgen şeması üzerinde oluşturduğu kuvvet
F_{m,k,V}	: Kesme kuvvetinin yapı şaftındaki m' inci modülünün k-ıncı üçgen şeması üzerinde oluşturduğu kuvvet
F_x	: x doğrultusunda etkiyen kat kuvvetleri
F_y	: y doğrultusunda etkiyen kat kuvvetleri
F_y*	: Çeliğin akma gerilmesi
F_z	: z doğrultusunda etkiyen kat kuvvetleri
h	: Modül yüksekliği
H	: Yapı yüksekliği
h_{sx}	: x seviyesinin altındaki kat yüksekliği
K	: Diyagonal etkin uzunluk faktörü
K_m	: Eğilme rijitliği
K_{mm}	: m-inci modülün eğilme rijitliği
K_v	: Kesme rijitliği
K_{vm}	: m-inci modülün kesme rijitliği

L	: Yanal olarak desteklenmemiş uzunluk
L*	: Hareketli yükler
L_d	: Diyagonal uzunluğu
M_m	: Modül seviyesindeki devrilme momenti
M_x	: x doğrultusundaki eksenler boyunca düzlem dışı kat momentleri
M_y	: y doğrultusundaki eksenler boyunca düzlem dışı kat momentleri
M_z	: z doğrultusundaki eksenler boyunca düzlem içi kat momentleri
N	: Modüldeki diyagonal sayısı
N_f	: Flanş cephesindeki diyagonal sayısı
n_k	: Çevre boyunca modül sayısı
N_{m,k,M}	: F _{m,k,M} kuvvetinin modül diyagonallerinde oluşturduğu eksenel kuvvet
N_{m,k,Q}	: F _{m,k,G} kuvvetinin modül diyagonallerinde oluşturduğu eksenel kuvvet
N_{m,k,V}	: F _{m,k,V} kuvvetinin modül diyagonallerinde oluşturduğu eksenel kuvvet
N_w	: Gövde cephesindeki diyagonal sayısı
P_{cr}	: Burkulma dayanımı
P_y	: Akma dayanımı
r	: Atalet yarıçapı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R¹_{arz}	: LS performans seviyesine karşılık gelen arz taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R²_{arz}	: CP performans seviyesine karşılık gelen arz taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_{kod}	: Kod tabanlı taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_{talep}	: Talep taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_μ	: Süneklik faktörü
t	: Diyagonal et kalınlığı
u_m	: m-inci modülün yanal yer değiştirmesi
u_{mm}	: m-inci modülün eğilme yer değiştirmesi
u_{vm}	: m-inci modülün kesme yer değiştirmesi
u(H)	: Tepe ötelenmesi

V_m	: Modül seviyesindeki kesme kuvveti
γ	: Çevre kiriş düzlemi ve cephe arasındaki açı
γ^*	: Talep edilen tekdüze enine kesme gerinimi
χ^*	: Talep edilen tekdüze eğrilik
α	: Basit üçgensel elemanın rüzgar yönü ile açısı
α_i	: Kesme doğrultusu ve çevre kiriş arasındaki açı
θ	: Diyagonal açı
θ_{1opt}	: En uygun alt diyagonal açı
θ_{2opt}	: En uygun üst diyagonal açı
δ_x	: x doğrultusunda yer değiştirmeler
δ_y	: y doğrultusunda yer değiştirmeler
δ_z	: z doğrultusunda yer değiştirmeler
φ_x	: x doğrultusundaki düzlem dışı kat dönüşleri
φ_y	: y doğrultusundaki düzlem dışı kat dönüşleri
φ_z	: z doğrultusundaki düzlem içi kat dönüşleri
Q_m	: Yerçekimi yükleri
Δ	: Yer değiştirme
$\Delta\beta$: Birimsel dönme açısı
Ω_0	: Dayanım fazlalığı katsayısı
λ	: Narinlik oranı
μ	: Süneklik oranı
$[K_{HH}]^*$: Diagrid rijitlik matrisi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Diagrid Çerçeve ve Basit Üçgensel Eleman	4
Şekil 2 Yanal Yük Altında Bir Diagrid Yapı ve Cephelerin Farklı Durumları	5
Şekil 3 a) Sekiz Katlı Bir Diagrid Modülü, b) Boru Biçimli Bir Diagrid Konfigürasyonun Yapısal Elemanları.....	6
Şekil 4 Kademeli Değişen Açılara Sahip Tipik Bir Diagrid Cephesi	8
Şekil 5 Diagrid Modellerine Ait İtme Eğrileri	10
Şekil 6 İterasyonlar Aracılığıyla R Faktörünün Tanımlanması	12
Şekil 7 Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Periyoda Bağlı Sünekliğin Tahmininde Kullanılan Doğrusal Olmayan Statik İtme Eğrisi	13
Şekil 8 a) 16 Katlı, b) 24 Katlı, c) 32 Katlı Diagrid Binaların Kod Tabanlı, Talep ve Arz Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayılarının Grafikselsel Gösterimi, d) R Katsayılarının Bina Yüksekliğine Bağlı Değişimi.....	16
Şekil 9 Kare Planlı Diagrid ve Geleneksel Çerçevesel Bina Modellerinin İtme Eğrileri	17
Şekil 10 Geleneksel Diyagonaller ve Burkulmaya Karşı Dirençli Diyagonaller ile Tasarlanan Diagrid Bina Modellerinin (67,4°) İtme Eğrileri	18
Şekil 11 Shukov Radyo Kulesi	20
Şekil 12 a) Swiss Re-30 Saint Mary Axe, b) Hearst Tower.....	20
Şekil 13 a) CCTV-Headquarter, b) Poly International Plaza, c) The Bow Tower.....	21
Şekil 14 Diagrid Modülündeki Yükler ve İç Kuvvetler.....	24
Şekil 15 Modüler Metodun Şematik Gösterimi	26
Şekil 16 Modüler Metoda Göre Eğilme Rijitliği Hesap Diyagramı	27
Şekil 17 Merkezi Çekirdek ile Birleştirilmiş Diagrid Sistemin Kesme Kuvvetleri, Eğilme ve Burulma Momentlerinin Dağılımı	30
Şekil 18 Dairesel Planlı Model İçin Algoritmik Akış Planı.....	31
Şekil 19 KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü.	33

Şekil 20 DPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü	33
Şekil 21 E3,97-KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü	34
Şekil 22 E7,91-KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü	34
Şekil 23 E3,97-KPÇK Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü	35
Şekil 24 E7,91-KPÇK Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü	36
Şekil 25 a) Eksenel Davranışa Sahip Elemanların Kuvvet-Deformasyon, b) Eğilme Davranışına Sahip Elemanların Moment-Dönme İlişkisi	41
Şekil 26 Ölçeklenmemiş Deprem Kayıtlarına Ait Yatay Bileşke Spektrumları, Tasarım Spektrumu ve Ölçeklenmiş Yatay Bileşke Spektrumlarının Ortalama Zarflı.....	42
Şekil 27 Diagrid Modellerin Statik İtme Eğrileri.....	46
Şekil 28 Diagrid Modellerin Maksimum Taban Kesme Oranları	46
Şekil 29 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizlerinden Elde Edilen Maksimum Göreli Kat Ötelenme Zarfları	47

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1 Sismik Performans Faktörleri İçin İstatistiksel Ölçüler.....	14
Çizelge 2 Tasarım Sismik Kuvvet Parametreleri.....	38
Çizelge 3 Diagrid Modellerin Kesit Boyutları.....	39
Çizelge 4 Deprem Kayıtlarının Özellikleri.....	43
Çizelge 5 Diagrid Modellere Ait Modal Özellikler.....	44
Çizelge 6 Maksimum Tepe Yer Değiştirmesi.....	48
Çizelge 7 Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi.....	49

I. GİRİŞ

Diagrid yapısal sistemler, çeşitli karmaşık formlarla tasarıma uygun modülerliği ve yapısal verimliliği ile yüksek katlı binaların tasarımında alternatif haline gelen inovatif sistemlerdir. Sir Norman Foster tarafından tasarlanan Swiss Re Building ve Hearst Tower yapılarının tamamlanması, geleneksel çerçeve sistemlerine göre avantajları gözlenen diagrid binaların dünya üzerindeki önemli örneklerinin hayata geçirilmesine referans sağlamıştır. Diagrid binalarda yapı cephesine yerleştirilen diyagonaller sayesinde yer çekimi ve yanal yüklerin büyük bir kısmının aksenal kuvvetler vasıtasıyla; dış dikey kolonlara gerek olmadan taşınması sağlanır. Böylelikle yüksek katlı binalarda genellikle tasarımı yöneten yanal yük direnç talebi uygun şekilde karşılanmış olur.

Tasarlanan yüksek katlı hacimlerin performansları dış cephe yüzeyi ve rüzgar akışı gibi parametrelere bağlı olarak malzeme, maliyet ve enerji tabanında optimize edilerek iyileştirilebilir. Bu durumun beraberinde getirdiği birbirine dik olmayan cephelere ve karmaşık formlara sahip binalar günümüzde parametrik tasarım prosedürleri ile kolayca modellenebilmektedir (Vollers, 2008: 2). Mimari ve estetik kaygılarında birbirine dik olmayan cepheler ve karmaşık formlara yönelimdeki etkisi büyüktür. Ancak, bu yönelimin sismik performans üzerindeki etkilerinin de araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla farklı eğilme açıları ve plan şekilleri ile tasarlanan; iki farklı yapısal çekirdek sistemine sahip diagrid sistemli bina modellerinde doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak, tanımlanan değişkenlerin diagrid sistemli binaların sismik davranışına etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada öncelikle diagrid yapılar ile alakalı genel değerlendirme, literatür taraması ve tarihsel gelişim yer almaktadır. Diyagonal elemanların boyutlandırılabilirdiği ön tasarım yaklaşımlarının ardından yapısal analize değinilmiştir. Daha sonrasında iki farklı plan şekli ve eğilme açısı ile çelik diagrid bina modelleri tasarlanarak, doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiştir.

Belirli bir eğilme açısı ile tasarlanan modellerde iç diagrid çekirdek kullanımının sismik davranışa katkısının belirlenmesi için de çift katmanlı diagrid modeller oluşturulmuştur. Diagrid yapıların incelenmesinde, 4 m eşit kat yüksekliğine sahip 36 katlı altı model kullanılmaktadır. Son olarak, analiz sonuçlarının değerlendirilmesiyle elde edilen çeşitli çıkarımlara yer verilmiştir.

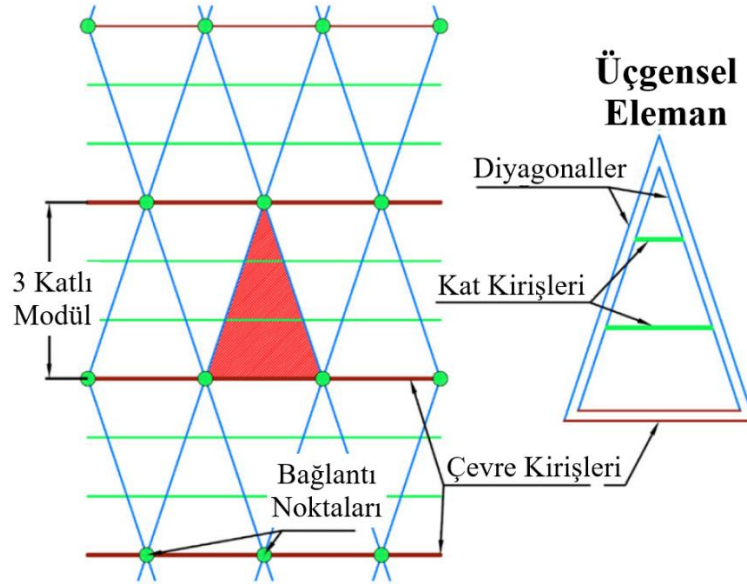
II. DİAGRİD YAPILAR

A. Genel Değerlendirme

Binalarda en yükseğe ulaşma yarışında genellikle daha kısa yapılarda benimsenen rijit çerçeve sistemiyle yapılan tasarım çözümleri aşırı maliyetlere sebep olduğundan yüksek katlı binaların tasarımında yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine olan yönelimi arttırmaktadır. Zamanla bina yüksekliğinin artışıyla genellikle bu tür yapılarda tasarımı yöneten yanal yük direnç talebindeki aşırı artışın diyagonaller ile karşılanabileceği anlaşılmıştır (Montuori, vd. 2014: 113; Ali ve Moon, 2007: 207). Ancak, eski dönemlerde diyagonallerin yapısal önemi anlaşılmasına rağmen estetik potansiyeli göz ardı edilerek binaların iç kısımlarında bulunan çekirdeklere saklanmıştır. Chicago da bulunan John Hancock binasında diyagonallerin yapı çekirdeğinden çıkartılarak binanın dış yüzeyi boyunca yerleşimiyle oluşturulan tasarım stratejisi yapısal verimliliği üst düzeye çıkartarak estetik katkı sağlamıştır (Moon, vd. 2007: 205). Fazlur Khan tarafından tavsiye edilen yapı cephesinde çaprazlanmış boru biçimli dış mega diyagonallerin kullanılması önerisi, yapıdaki kesme gecikmesini azaltması ve yüksek yanal rijitlik sağlaması açısından önemli bir gelişmedir (Mele, vd. 2014: 125-126).

Diyagonal destek elemanlarının yüksek binalardaki kullanımına yanal kuvvetlere direnmedeki verimliliği arttırması sebebiyle sıkça rastlanmaktadır. 1960'ların sonlarında ortaya çıkan çaprazlı boru biçimli elemanlarla oluşturulan yapı konsepti yüksek binalar için rijitlik ve dayanım gereksinimlerini en iyi karşılayan yapısal konfigürasyonlardandır (Montuori, vd. 2013: 1294; Moon, vd. 2007: 205). Bu kapsamda güçlendirilmiş çerçevelerden geldiği bilinen boru biçimli diyagonaller ile oluşturulan diagrid yapı sistemleri, kesme deformasyonları nedeniyle verimlilik kaybı oluşumunu azaltmada oldukça verimli sistemlerdir (Montuori, vd. 2013: 1294; Asadi ve Adeli, 2018a: 2). Ayrıca, diagrid yapı sistemlerinin sahip olduğu yüksek yapısal verimlilik, iç mekan düzenleme esnekliği ve çeşitli karmaşık formlarla tasarıma uygun modülerlik gibi özellikler yüksek katlı binalarda kullanım açısından diğer geleneksel sistemlere göre avantaj sağlar (Scaramozzino, 2020: 3).

Diagrid yapı sistemleri, çevre diyagonal grid deseni ve yatay çevre kirişleriyle bina çevresini biçimlendiren yapısal konfigürasyonlardır (Mele, vd. 2014: 124; Kim ve Lee, 2012: 736). Grid deseninin iki eğimli diyagonal ve çevre kirişinden oluşan üçgensel temel bileşeni Şekil 1’de verilmektedir (Asadi, vd. 2018: 4). Diyagonallerin birden fazla kata kadar uzandığı durumlarda (örneğin Şekil 1); genellikle ikincil çevre kirişi veya kat kirişi olarak adlandırılan yapısal elamanlar ile desteklenir (Liu ve Ma, 2016: 3; Scaramozzino, 2020: 3-4). Kat kirişleri, her kat seviyesinde gerçekleşen modül yük aktarımı ile diyagonal doğrultusuna dik oluşan kuvvet bileşeninin karşılanmasına izin verir. Böylece ön tasarım proseslerinde genellikle ihmal edilen kesme ve eğilme gerilmeleri oluşur. Diyagonallerdeki hakim eksenel kuvvet korunur (Mele, vd. 2014: 126; Scaramozzino, 2020: 3).

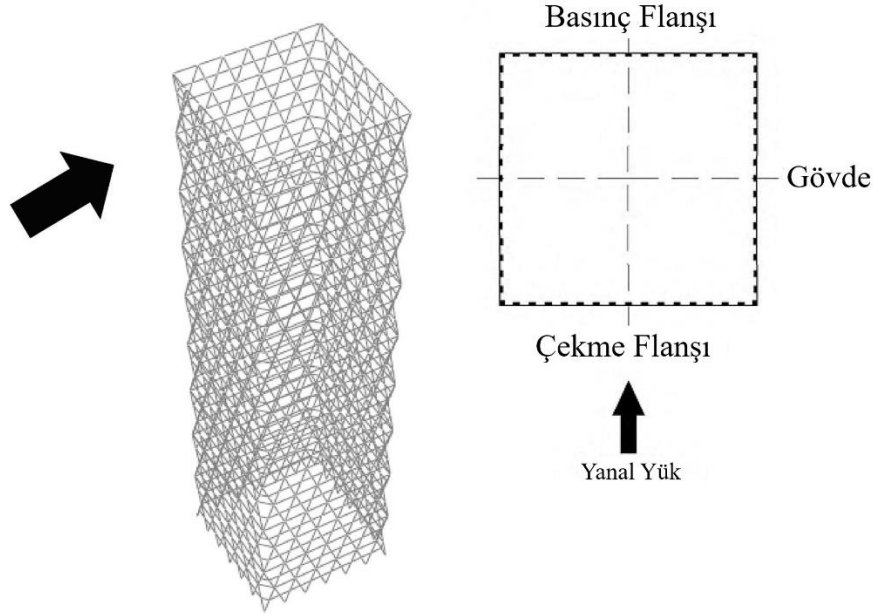


Şekil 1 Diagrid Çerçeve ve Basit Üçgensel Eleman

Moment dayanımlı çerçevelerdeki yanal kuvvetler kolonlarda büyük eğilme momenti ve eksenel kuvvetlere neden olurken; diagridlerde bu kuvvetlere diyagonallerin çekme ve basınç eksenel kapasiteleri ile karşı konulur (Heshmati, vd. 2020: 113). Yanal yük altında bir diagrid modeli ve cephe düzlemlerinin farklı durumları Şekil 2’de verilmektedir (Heshmati, vd. 2020: 116). Burada, yanal yük etkisi altında cephe düzlemlerinde oluşan eksenel kuvvet durumu görülmektedir.

Deprem ve rüzgar gibi yanal kuvvetler diyagonallerdeki eksenel kuvvetler vasıtasıyla transfer edilir (Asadi ve Adeli, 2018a: 2-3). Ayrıca, sahip olduğu yüksek

yanal rijitliğin getirdiği yapı frekansındaki artış girdap frekansına kilitlenmesi için gereken rüzgar hızını arttıracığından kilitlenme eğilimi azalır (Moon, vd. 2007: 206).

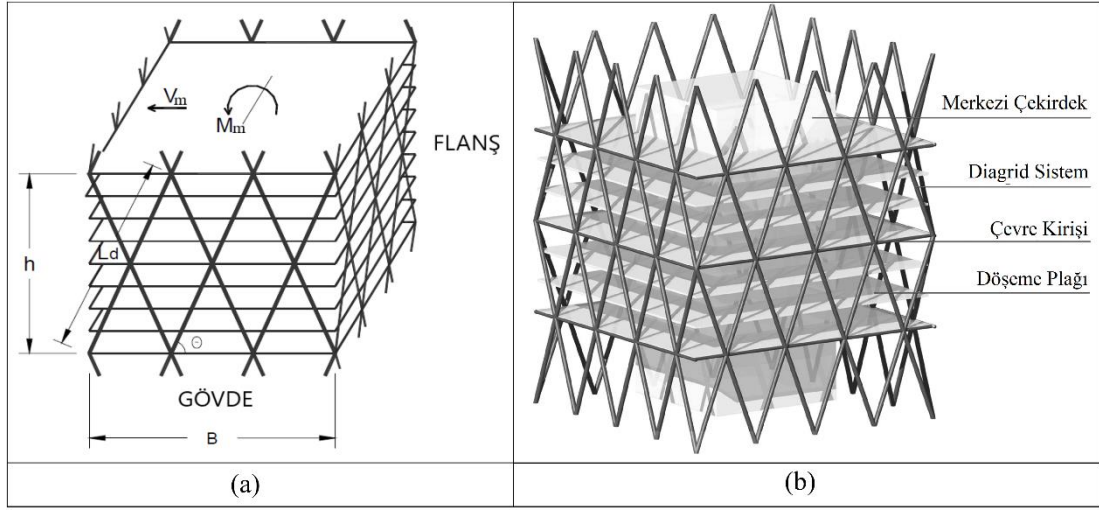


Şekil 2 Yanal Yük Altında Bir Diagrid Yapı ve Cephelerin Farklı Durumları

Diagrid bir bina genellikle birden fazla kat boyunca uzanan ve yapı yüksekliği boyunca diagrid desenine göre dikey olarak tekrarlayan modüllerden oluşmaktadır (Montuori, vd. 2013: 1295; Moon, 2008: 241). Şekil 3a'da sekiz katlı bir diagrid modülü verilmektedir (Moon, 2008: 242). Diagrid yapı modüllerindeki, yatay çizgiler ile diyagonal elemanlar arasındaki açının (diyagonal açı); yerçekimi yüklerine, yanayla kuvvetlere ve mimari gerekçelere dayanarak tanımlanabileceği bir ideal açı veya açısal kombinasyonun varlığından söz edilebilir (Asadi ve Adeli, 2018a: 3; Moon, vd. 2007: 207). Bir geleneksel güçlendirilmiş çerçeve için maksimum kesme rijitliği, devrilme momenti ve yer çekimi yükleri açısından ideal diyagonal ve kolon açısı tanımlanabilir. Kesme ve eğilme kapasitelerinin dengelendiği ideal diyagonal açının 35° ile 90° arasında yer alması beklenir (Moon, 2008: 240).

Şekil 3b'de bir diagrid konfigürasyonundaki yapısal elemanlar verilmektedir (Angelucci ve Mollaioli, 2017: 4). Diagrid binalar, yakın aralıklı diyagonal yerleşimi ile oluşturulan yapı cephesiyle dış dikey kolonların tamamının kaldırılmasına olanak tanır (Mele, vd. 2014: 126). Zaten geleneksel dış-güçlendirilmiş çerçeve yapıları ile diagrid yapılar arasındaki ana fark yapının dışındaki dikey elemanların (kolonlar) kaldırılmasıdır (Moon, vd. 2007: 205). Böylece, diyagonal elemanların hem eğimli

kolon hem de destek elemanı gibi davranması yerçekimi yükleri yanında yanall kuvvetlerinde taşınmasını sağlar (Mele, vd. 2014: 126).



Şekil 3 a) Sekiz Katlı Bir Diagrid Modülü, b) Boru Biçimli Bir Diagrid Konfigürasyonunun Yapısal Elemanları

Diagrid binalarda, farklı yapısal çekirdek sistemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, iç diagrid ve yer çekimi çerçeve sistemleri ele alınmıştır. Geleneksel (tek katmanlı) diagrid bina modelleri paralel çalışan iki yapısal sisteme sahiptir. Bunlar iç yer çekimi ve çevresel diyagonal ızgara sistemidir. İç çekirdek yapısı, köşelerdeki dört kolona bağlanan ana kirişler ve ikincil kirişlerin birleşimiyle oluşan sıradan bir çerçevedir. Çevresel diyagonal ızgara sisteminin (diyagonal ve yatay elemanların birleşimiyle oluşan) çekirdeğe bağlantısı, çekirdeğin her iki yanında bulunan iki dış açıklık ile sağlanır. Çift katmanlı diagrid bina modellerinde ise dış diagrid çerçeve yapısı aynı kalırken, yapısal çekirdek sisteminde diagrid çerçeve kullanılmaktadır (Asadi ve Adeli, 2018a: 4; Milana, vd. 2015: 383; Seyedkazemi ve Qolian Seraji, 2019: 1184).

B. Literatür İncelemesi

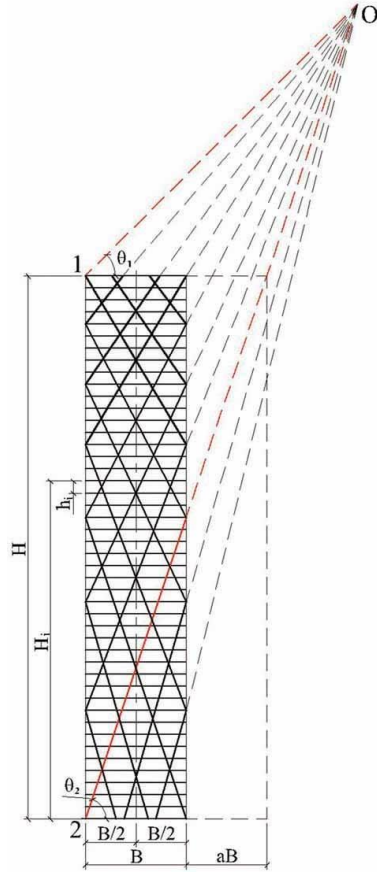
Literatürde diagrid sistemler üzerine yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı ön tasarım ve yapısal analiz konularına odaklanmıştır. Diyagonal elemanların ön tasarımı için ilk öneri Moon vd. (2007: 219) tarafından sunulmuştur. Moon ve diğerlerinin (2007: 219) rijitliğe dayalı yaklaşım önerisinin ardından çok köşeli plan şekline sahip diagrid yapılar için ön tasarım problemini ele alan Liu ve Ma, (2016: 3) benzer şekilde türetilen (kesme ve eğilme rijitliklerinin

değerlendirilmesine dayalı) bir yaklaşım önermiştir. Ancak, bazı durumlarda baskın tasarım kriterinin rijitlikten dayanıma kayması muhtemel olduğundan; Montuori vd. (2013: 1299) dayanıma dayalı bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur.

Gerasimidis vd. (2016: 319) yüksek katlı diagrid yapıların ön tasarımı için yinelemeli bir sürecin izlendiği rijitliğe dayalı bir optimizasyon yaklaşımı önermişlerdir. Liu ve Ma, (2016: 3) Mele vd. (2014: 132) ve Lacidogna vd. (2019: 340) diagrid yapıların genel davranışının değerlendirilebildiği alternatif yapısal analiz yaklaşımları üzerinde çalışmışlardır. Diagrid yapılardaki ön tasarım ve yapısal analiz konuları ileriki bölümlerde detaylı olarak işlenmiştir.

Diagrid yapılarda, grid geometrisinin optimizasyonu ile yapısal performans iyileştirilebilir. Bu amaçla, en uygun dış diyagonal desenine ulaşmak için kapsamlı çalışmalar sunulmuştur. Moon (2008: 239, 242-244, 250) 4,3 ile 7,8 aralığında değişen boy-en oranı ve aynı kat planı ölçülerine sahip yüksek katlı diagrid bina modellerinde malzeme kullanımı açısından en uygun grid geometrisini araştırmıştır. Çalışma kapsamında, 3,9 m kat yüksekliği ve 18x18 m boyutlarında merkezi yer çekimi çekirdeğine sahip 36x36 m kare planlı diagrid modeller kullanılmıştır. Çalışma bütünlüğü açısından, diagridlerin tepeye doğru kademeli olarak dikleştiği durumlarda incelenmiştir. Ayrıca, kademeli değişimin radikal ve ılıman olmak üzere iki farklı eğilimi dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda, boy-en oranı 7 değerini aştığında en uygun grid geometrisinin tek tip açılı diyagonallerden kademeli değişen açısız konfigürasyonlara kaydığı bulunmuştur.

Zhang vd. (2012: 283-285) kademeli değişen açısız konfigürasyonların tasarım stratejisinde genellikle diyagonal açıların değiştiği modüllerin arayüzünde yük yolunun sürekli olmadığını değerlendirmişlerdir. Daha doğrudan yük aktarımına elverişli bir açısız konfigürasyon yapılandırması için grafiksel basit bir yaklaşım önerisinde bulunmuşlardır. Şekil 4'te, önerilen grafiksel yaklaşımın açıklanması için bir örnek verilmektedir. Diyagonal düzenlemesinde kullanılan grafiksel yaklaşımda, θ_1 (üst açı) ve θ_2 (alt açı) açıları verildiğinde; O_1 ve O_2 olmak üzere iki kontrol çizgisi yerleştirilir. Kesişim noktalarından, diğer diyagonallerin ışımsal olarak çizilmesi ile diyagonallerin yarısı düzenlenir. Diğer yöndeki diyagonallerinde aynalama ile kolayca düzenlenmesi sağlanır. Daha düzgün değişen açılar ile yapılan düzenleme sayesinde, doğrudan yük aktarımı sağlanmış olur.



Şekil 4 Kademeli Değişen Açılara Sahip Tipik Bir Diagrid Cephesi

Zhang vd. (2012: 289, 293-295) diyagonal ön boyutlarını tanımlamak için geliştirdikleri metodolojiyi en uygun grid geometrisini araştırmak için farklı boy-en oranlarına sahip 30, 37, 45, 60 ve 75 katlı diagrid modellerine uygulamışlardır. Belirtilen yaklaşım kullanılarak, 3,6-9 aralığındaki boy-en oranına sahip düz diyagonallerden oluşan diagrid modeller için en uygun grid geometrisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, kritik boy-en oranının aşıldığı modeller için kademeli değişen açısal konfigürasyonların daha ekonomik sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Ayrıca, malzeme kullanımı açısından en uygun alt ve üst diyagonal açı değerlerine ulaşmak için aşağıda verilen ampirik formüller önerilmiştir.

$$\theta_{2opt} = \arctan \frac{H/B}{1 + 0.475 \sqrt{\frac{H/B}{4.75}}} \quad (1)$$

$$\theta_{1opt} = \theta_{2opt} \quad \text{for } H/B \leq 3.5 \quad (2)$$

$$\theta_{1opt} = \frac{1}{\left(1 + \ln \frac{H/B}{3.5}\right)^{\frac{H/B}{2}}} \left(\theta_{2opt} - \arcsin \frac{1}{\sqrt{3}} \right) + \arcsin \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

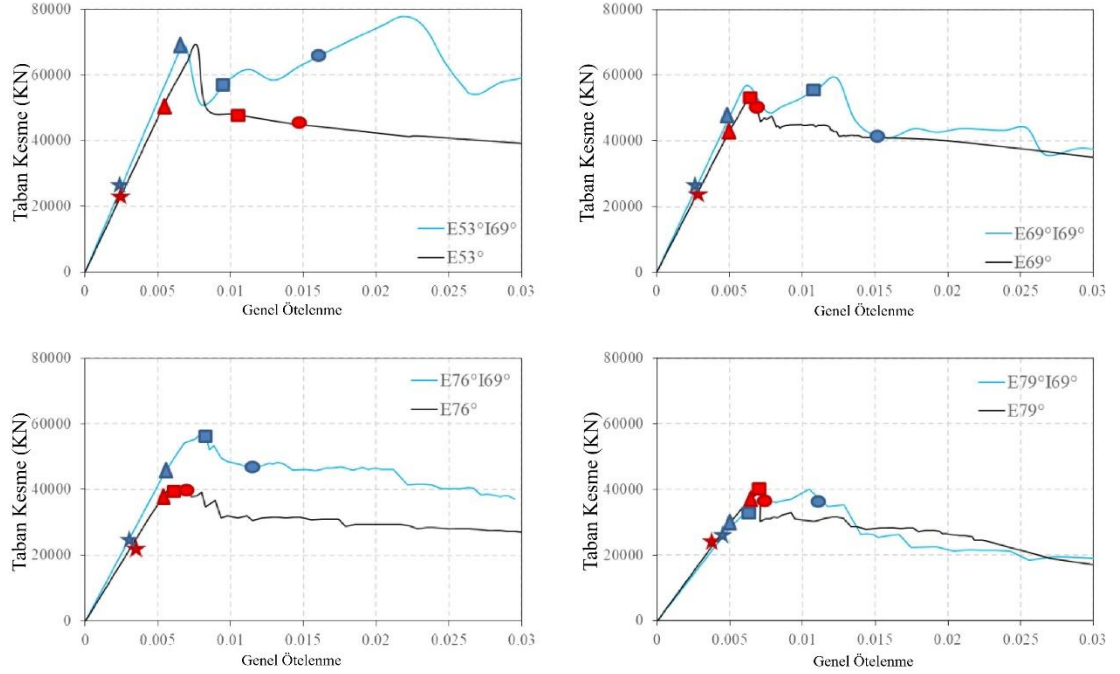
for $H/B > 3.5$

Seyedkazemi ve Qolian Seraji (2019: 1183-1185) çift katmanlı bir diagrid sistemi önerisinde bulunmuş ve önerilen sistemin yanal rijitliğini hesaplamak için çeşitli varsayımların benimsendiği denklemler türetmişlerdir. Çalışma kapsamında, çeşitli iç ve dış diyagonal açı kombinasyonları benimsenerek oluşturulan 12 katlı 25 modelin analizinden önerilen sistemin sismik performansı değerlendirilmiştir. Bu amaçla, 3,2 m kat yüksekliği ve 18x18 m boyutlarında merkezi diagrid çekirdeğe sahip 42x42 m kare planlı diagrid analiz modelleri seçilmiştir. Yapılan çalışmada, maksimum yanal rijitliğin iç ve dış diyagonal açının 35° olduğu durumda elde edilebileceği ve mimari işleve göre istenen rijitliği elde etmek için diyagonal açı alternatiflerinin bulunduğu belirlenmiştir. Örneğin, iç ve dış diyagonallerin toplam kesit alanlarının oranı 2,5'e eşit olduğunda; iç-dış diyagonal açıların sırasıyla 43° - 73° ve 65° - 65° seçildiği modellerde elde edilen rijitlik aynıdır.

Çalışma sonucunda, çift katmanlı diagrid sistemlerin rijitlik ve dayanım kriterlerinin karşılanmasında geleneksel diagrid sistemlerden daha iyi bir performans gösterdiği ve uygun açısız kombinasyon ile yapı sünekliğinin geliştirilebileceği çıkarımlarında bulunmuşlardır. İç ve dış diagrid yapısal sistemlerde gerekli rijitliğin sağlanması için kullanılacak birkaç alternatif önerisi sunmuşlardır. Bunlar, iç ve dış diagrid çerçeve diyagonallerinin kesit alanlarını değiştirerek rijitliğin iç veya dış diagrid çerçevede yoğunlaştırılması, farklı diyagonal açı kombinasyonları ve farklı diyagonal açı kombinasyonlarının ilk iki alternatif ile entegrasyonudur (Seyedkazemi ve Qolian Seraji, 2019: 1191).

Heshmati vd. (2020: 114-115, 125) dış çerçeveler için 53° , 69° , 76° ve 79° diyagonal açılar ile tasarlanan 36 katlı geleneksel ve çift katmanlı diagrid bina modelleri üzerinde; doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanı analizleri yürüterek sismik performans değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonucunda, iç diagrid çerçevenin hasar durumunu geciktirerek bir emniyet payı sağladığı çıkarımında bulunmuşlardır. Bu durum Şekil 5'te, çalışmada ele alınan modellerin itme eğrilerinde açıkça gözlenmektedir (Heshmati, vd. 2020: 117). Burada, $E79^\circ$

169° ile dış diagrid çerçevede 79° ve iç diagrid çerçevede 69° diyagonal açığa sahip diagrid bina modeli tanımlanmaktadır. Ayrıca, çift katmanlı diagrid modellerindeki dış diyagonal açının artışıyla iç diagrid çerçevenin enerji dağılımındaki katılımının arttığını gözlemlemişlerdir.



Şekil 5 Diagrid Modellerine Ait İtme Eğrileri

Çeşitli geometrik formlarda tanımlanan yüksek katlı diagrid binaların aşamalı göçmeye direnç kapasiteleri üzerine de bir dizi çalışma yürütülmüştür. Kwon ve Kim, (2014: 223) çeşitli açılar ile döner kıvrımlı; Kim ve Kong, (2013: 1200) çeşitli dikey eğriliklere sahip rotor tip; Kim ve Jung, (2013: 1360-1363) iki farklı eğilme açısına sahip diagrid konfigürasyonlarda tanımladıkları bina modellerinin rastgele dikey taşıyıcı eleman çıkarma senaryolarına göre benzer geometrik özelliklere sahip diğer geleneksel sistemler ve birbirleriyle karşılaştırarak aşamalı göçmeye direnç kapasitelerini değerlendirmişlerdir.

Kwon ve Kim, (2014: 223-224, 229-230) 12x12 m boyutlarında merkezi yer çekimi çekirdeğine ve 36x36 m kare planlı dış diagrid çerçeveye sahip 36 katlı diagrid modelini 90°, 180° ve 270° döndürerek çeşitli döner kıvrımlı varyasyonlarda analiz modelleri oluşturmuştur. Çalışma kapsamında, oluşturulan modellerin aşamalı göçmeye direnç kapasiteleri değerlendirilmiş ve sismik yük dayanım kapasiteleri kırılgenlik analizi ile incelenmiştir. Analiz modeli yapılarının, ilk kattan bir veya iki çift diyagonal çıkarma senaryolarında aşamalı göçmeye karşı dirençli olduğu

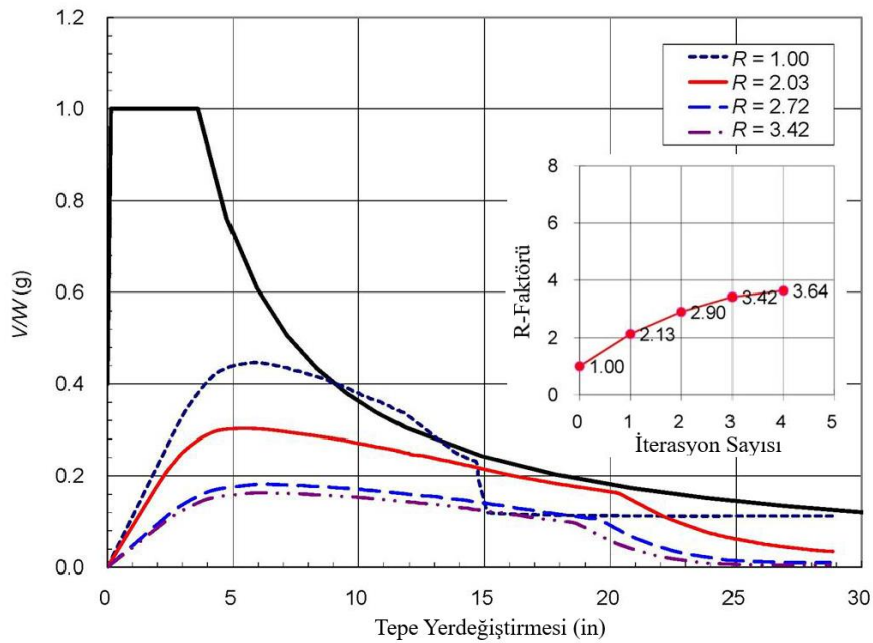
görülmüştür. Ayrıca, kıvrım açısı arttıkça; sismik kırılmanın ve aşamalı göçme potansiyelinin azaldığı gözlenmiştir.

Yüksek katlı yapı formlarında düşey eksen etrafında döndürülen bir çizginin oluşturduğu yapı hacmi rotor olarak tanımlanır. Kim ve Kong, (2013: 1199-1200, 1210) analiz modelleri olarak silindirik, kabak tipi, iç ve dış bükey yükseltilere sahip 33 katlı rotor tipli diagrid binalar tasarlayarak, aşamalı göçmeye direnç kapasitelerini doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler ile karşılaştırmışlardır. Oluşturulan analiz modelleri benzer kat alanlarına sahip olacak şekilde seçilmiştir. Silindir şekilli yapılar hem moment çerçevesi hem de diagrid yapısal sistemler kullanılarak tasarlanmıştır. Kat sayısı ve diyagonal eğimi gibi parametrelerin performansa etkisi, silindir şekilli diagrid modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Ayrıca, çıkarılan diyagonal elemanın konumunun performansa etkisi de incelenmiştir. Çalışma sonucunda, bina yüksekliği ve diyagonal eğimi gibi parametrelerin maksimum dayanımda küçük değişimlere sebep olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, moment çerçevesi kullanılarak tasarlanan model haricindeki diğer modellerin ilk kattan bir kolon ve bir çift diyagonal çıkarma senaryosunda aşamalı göçmeye direnç kapasitelerinin yeterli olduğu görülmüştür. Kabak tipi yapılarda hasarlı elemanların, çıkarılan elemanların üzerindeki birkaç kat boyunca dar bir alana yayıldığı gözlenmiştir.

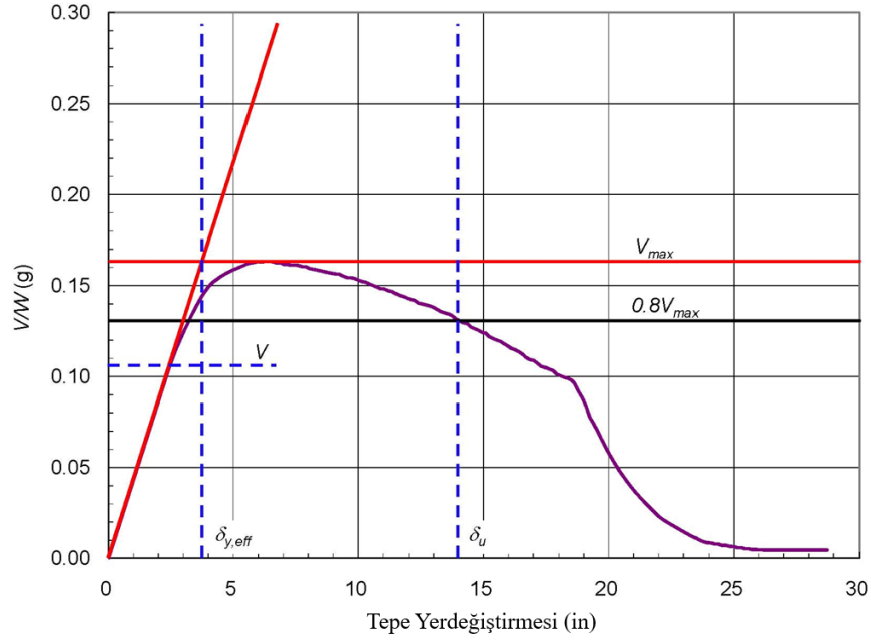
Kim ve Jung (2013: 1360-1363, 1373) eğilme açıları, kat sayısı ve kullanılan yapısal sistemler gibi parametrelerin aşamalı göçmeye direnç kapasitesine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla; dış destek, diagrid ve boru biçimli yapısal elemanların kullanıldığı çerçeve sistemleri ile oluşturulan 36 katlı; moment dayanımlı çerçeve sistemleri ile oluşturulan 7 ve 14 katlı çelik yapı modelleri üzerinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Moment dayanımlı çerçeveler ile oluşturulan eğimli yapılar, eğimli ve dikey iç kolonların kullanıldığı iki farklı tipte tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, bir köşesinden üç çift diagrid kaybı senaryosunda diagrid yapı modellerindeki plastik mafsalların eğimli model konfigürasyonunda daha geniş bir alanda asimetric olarak dağıldığı gözlenmiştir. Bu durum, eğim açısının artışı ile aşamalı göçmeye karşı direnen daha fazla yapısal elemanın varlığını göstermektedir. Boru biçimli yapısal elemanlar ile eğimli olarak oluşturulan modeller diagrid olanlara kıyasla daha iyi bir performans gösterse de, tasarımda kullanılan çelik tonajı dikkate alındığında aşamalı göçmeye direnç

göstermede diagrid modellerinden daha etkili olduğu çıkarımına ulaşılamayacağı değerlendirilmiştir.

Mevcut bina kodları diagrid yapısal sistemler için sismik performans faktörlerini açıkça ele almamaktadır. Baker vd. (2010: 1); Asadi ve Adeli (2018b: 1); Sadeghi ve Rofooei (2018: 155); Mohsenian vd. (2020: 1) çelik diagrid yapıların sismik performans faktörleri üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Baker vd. (2010: 1, 6-12) çelik diagrid çerçevesi sistemlerin sismik performans faktörlerini belirlemek için Federal Emergency Management Agency (2003) ve FEMA (2009) metodolojilerini benimseyen ve birleştiren analitik bir metot önermiştir. Önerilen metodoloji, alternatif olarak kod hükümlerini karşılamak için tasarlanan projeye özel yapısal sistemler içinde kullanılabilir. Çalışma kapsamında; değişen boy-en oranları, diyagonal açı, sismik tasarım kategorisi ve yer çekimi yük yoğunluğuna sahip toplam 300 diagrid modelinin FEMA (2003) prosedürlerine dayanan yinelemeli doğrusal olmayan analizi yoluyla R faktörü 3,64 olarak belirlenmiştir. Şekil 6'da verilen türetilmiş tahmini R faktörü ile Şekil 7'de verilen doğrusal olmayan statik itme analizden elde edilen itme eğrisinden, dayanım fazlalığı katsayısı ve periyoda bağlı süneklik tahmin edilebilir. Önerilen yaklaşım ile doğrusal olmayan dinamik analizlere gerek kalmadan, FEMA (2003) metodolojisi ile analitik varsayımlara dayanan makul bir R faktörü yinelemeli bir yaklaşım aracılığıyla hesaplama çabasında önemli bir azalma ile elde edilebilir.



Şekil 6 İterasyonlar Aracılığıyla R Faktörünün Tanımlanması



Şekil 7 Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve Periyoda Bağlı Sünekliğin Tahmininde Kullanılan Doğrusal Olmayan Statik İtme Eğrisi

Asadi ve Adeli (2018b: 2, 6-13, 16) 4, 8, 15 ve 30 arasındaki kat yüksekliklerine ve yaklaşık 45° , 63° ve 72° diyagonal açılara sahip diagrid modellerin sismik performans faktörlerinin FEMA (2009); Miranda ve Bertero (1994: 357); Vidic vd. (1994: 507); Newmark ve Hall (1982) metodolojilerinin kullanılarak değerlendirilmesi ile çelik diagrid yapılar için sismik performans faktörleri önermiştir. Oluşturulan 12 yapısal modelin performansını değerlendirmek için üç farklı yanal yük dağılımı dikkate alınarak doğrusal olmayan statik, 22 uzak bölge yer hareketi kaydı dikkate alınarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı ve artımlı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modellerin 4 farklı metodoloji ile değerlendirilmesiyle elde edilen sismik performans faktörleri için ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerler Çizelge 1'de verilmektedir. Çalışma sonucunda; diyagonal açı, boy-en oranı, kat sayısı ve tamamlanmamış üst diagrid modül varlığının sismik performans faktörlerini etkilediği çıkarımında bulunulmuştur. 8 katın altındaki çelik diagrid yapılarda 3,5 ve 4 aralığında; 8 ve 30 aralığında kat sayısına sahip çelik diagrid yapılarda ise 4 ve 5 aralığında bir R katsayısının kullanılması önerisi sunulmuştur. Ayrıca, dayanım fazlalığı katsayısı ve süneklik faktörünün en uygun kombinasyona sahip diagrid modelleri (4-63, 8-63, 15-72, 30-72) haricinde sırasıyla 2,5 ve 2 alınması önerilmiştir. Burada, 4-63 ile 63° diyagonal açıya sahip 4 katlı diagrid modeli

tanımlamaktadır. Özellikle, en uygun diyagonal açının kullanıldığı durumlarda çelik diagridlerin merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden daha üstün bir yapısal sistem alternatifi olabileceği bulunmuştur.

Çizelge 1 Sismik Performans Faktörleri İçin İstatistiksel Ölçüler

Parametre	Ortalama	Standart Sapma	Maksimum	Minimum
Ω_0	2,28	0,43	3,49	1,60
μ	2,65	0,79	4,41	1,70
C_d	6,03	2,10	10,51	3,66
Newmark-Hall				
R_μ	2,22	0,47	3,39	1,70
R	5,06	1,39	7,50	3,02
Miranda-Bertero				
R_μ	2,48	0,72	4,01	1,83
R	5,67	1,96	8,87	2,93
Vidic vd.				
R_μ	2,72	0,90	4,95	1,74
R	6,21	2,29	10,76	2,78
FEMA				
Ω_0	2,89	0,50	4,27	2,30
R_μ	1,96	0,65	3,38	1,03
R ve C_d	5,60	1,90	9,13	2,75

Sadeghi ve Rofooei (2018: 156-157, 167) 45°; 63,4° ve 71,5° gibi çeşitli diyagonal açılar ile tasarlanan 8 ve 12 katlı toplamda 12 çelik diagrid modelinin FEMA (2009) metodolojisine göre sismik performans faktörlerini değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında, diyagonal-kat kirişi bağlantılarının rijit ve mafsalı olmak üzere iki tipte dikkate alınmasıyla karşılaştırmalı bir çalışma yürütülmüştür. Diagrid modelleri, R ve Cd değerlerinin 3,6' ya eşit olduğu ve yüksek sismik bir bölgede bulunduğu varsayılarak tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, diyagonal açılarının artırılmasıyla dayanım fazlalığı katsayısının azalırken, süneklik oranının arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle, 45° diyagonal açısına sahip diagrid modelleri diğerlerinden daha kırılğan davranış göstermiştir. Ayrıca, Asadi ve Adeli'nin (2018b: 16) çalışmasına benzer şekilde diyagonal açının sismik performansı etkileyen önemli parametrelerden biri olduğunu değerlendirmiştir. R katsayısının 3,6 varsayılarak tasarlandığı diagrid modellerin yüksek sismik bölgelerdeki sismik performansının kabul edilemez olduğu gözlenmiştir. 45°; 63,4° ve 71,5° diyagonal açısına sahip

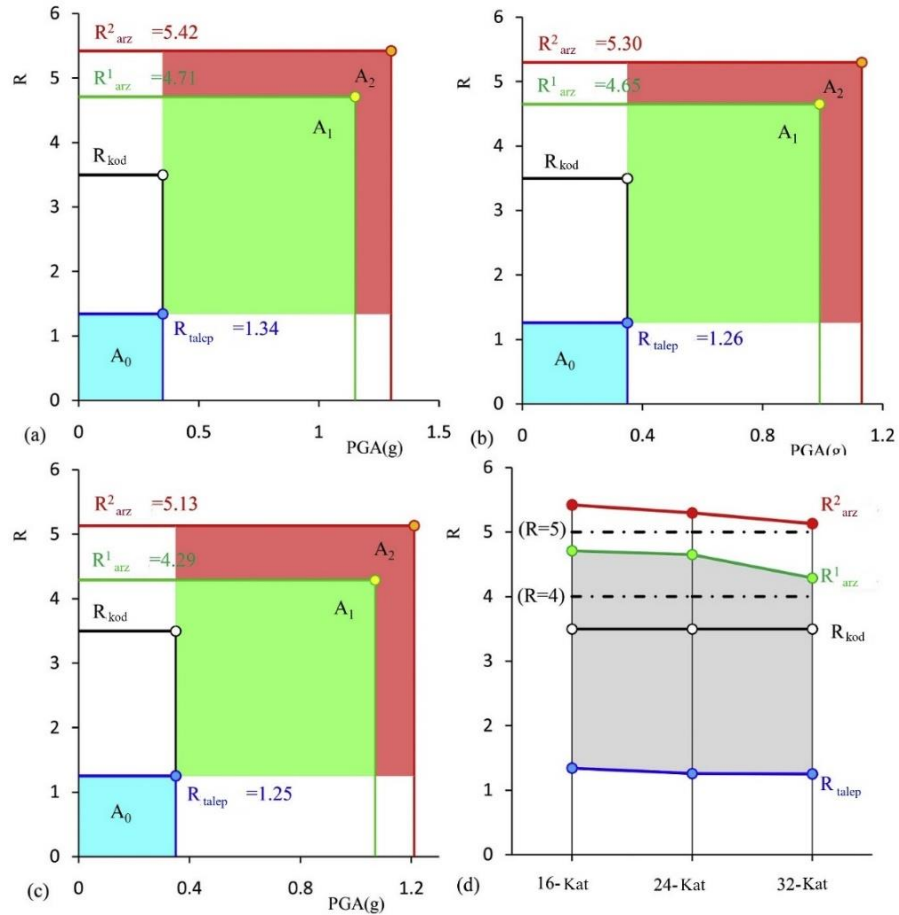
diagrid modelleri için R faktörlerinin sırasıyla 1,5; 2,5 ve 3 alınması önerisi sunulmuştur. Ayrıca, mafsalı diyagonal-kat kirişi bağlantılarına sahip diagrid modellerinin rijit bağlantılara sahip modellere kıyasla sismik performansının daha iyi olduğu değerlendirilmiştir.

Mohsenian vd. (2020: 1-3, 11) yürüttükleri çalışmada, diagrid sistemlerin sismik performansını değerlendirmeye ve hedef performans seviyelerine dayalı çok düzeyli taşıyıcı sistem davranış katsayısı sağlamaya odaklanmıştır. Bu amaçla, aynı plan şekline sahip 16, 24 ve 32 katlı çelik diagrid modeller üzerinde 12 yapay deprem kaydı dikkate alınarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı ve artımlı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısını elde etmek için kod tabanlı, talep ve arz kavramlarını içeren bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Kod tabanlı taşıyıcı sistem davranış katsayısı, tasarım sorunlarını ele alan belirli bir yapı kodu bulunmadığından, 3,5'e eşit varsayılmıştır. 16, 24 ve 32 katlı diagrid yapılar için talep taşıyıcı sistem davranış katsayısının tüm ivme kayıtlarından elde edilen ortalama değerleri Şekil 8'de verilmektedir. LS ve CP performans seviyelerine karşılık gelen iki arz taşıyıcı sistem davranış katsayısının (sırasıyla R1-arz ve R2-arz) spektrum uyumlu yapay deprem kayıtlarından elde edilen ortalama değerleri de aynı şekil üzerinde verilmektedir.

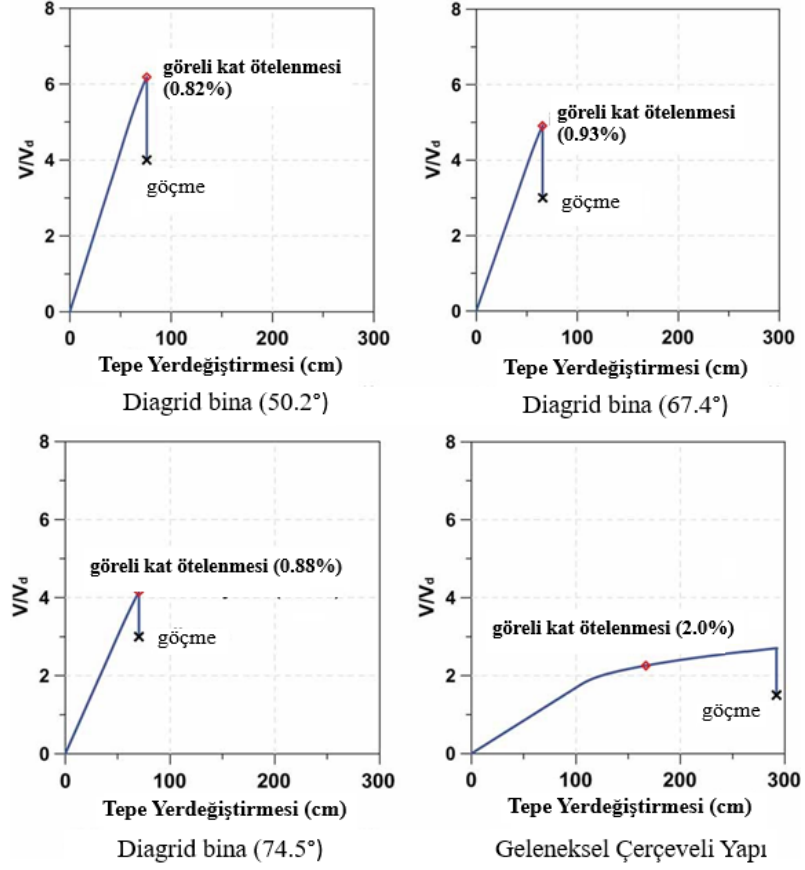
Şekil 8'de verilen grafiklerde, A_0 ile belirtilen alanlarda diyagonal elemanlar elastik bölgede kalmaktadır. A_1 ve A_2 alanlarına karşılık gelecek şekilde taşıyıcı sistem davranış katsayılarının seçimi ile diyagonal elemanlardaki aksenal gerinim değerleri sırasıyla LS ve CP seviyesine karşılık gelen sınır değerlerinden düşük olacaktır. Ayrıca, yapı yüksekliğinin artışı ile talep ve arz taşıyıcı sistem davranış katsayılarında bir azalma gözlenmiştir. Çalışma sonucunda, diagrid sistemler için taşıyıcı sistem davranış katsayısının 4'e eşit varsayılması önerisi sunulmuştur (Mohsenian, vd. 2020: 9-11).

Diagrid yapıların sismik performans değerlendirmesi de literatürde yer bulan önemli çalışma konularındandır. Kim ve Lee (2012: 737, 748) 50,2°; 61°; 67,4°; 71,6°; 74,5° ve 79,5° gibi çeşitli diyagonal açılar ile tasarlanan 36 katlı diagrid yapı modellerinde doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanı analizleri kullanarak sismik performans değerlendirmesi yapmışlardır. Ele alınan diagrid yapı modelleri, tüm geleneksel diyagonal elemanların burkulma dirençli olanlarla değiştirildiği ve aynı boyutlarda geleneksel çerçeveli yapısal sisteme sahip modeller

ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Kare plan şekline sahip diagrid ve geleneksel çerçevesiz binaların doğrusal olmayan analizlerden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 9’da verilmektedir (Kim ve Lee, 2012: 741). Diagrid binalar geleneksel çerçevesiz binalara kıyasla genellikle daha büyük dayanım ve rijitliğe sahip olmasına rağmen daha gevrek bir davranış göstermektedir. Ancak, dairesel planlı diagrid binalardaki kesme gecikme etkisinin kare planlı olanlara kıyasla daha düşük olduğu ve genel olarak diagridlerin geleneksel çerçevesiz binalara göre oldukça düşük bir kesme gecikme etkisine sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, dairesel plan şekline sahip diagrid binalar, kare planlı olanlara kıyasla daha düşük kesme gecikme etkisine sahip olduğundan daha yüksek dayanım ve deformasyon kapasitesine sahip olduğu çıkarımında bulunulmuştur.



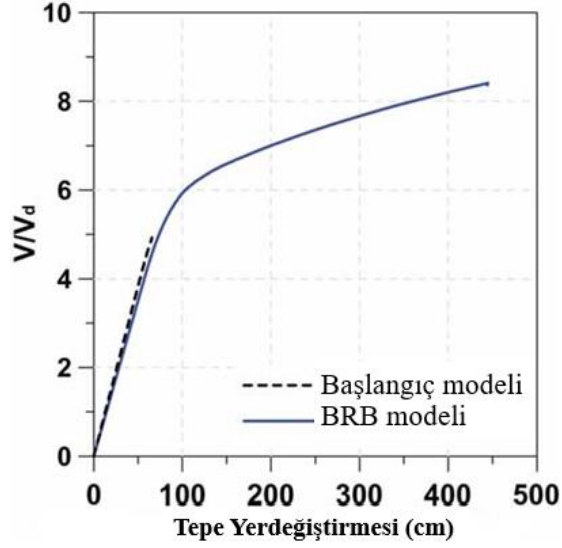
Şekil 8 a) 16 Katlı, b) 24 Katlı, c) 32 Katlı Diagrid Binaların Kod Tabanlı, Talep ve Arz Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayılarının Grafıksel Gösterimi, d) R Katsayılarının Bina Yüksekliğine Bağlı Değişimi



Şekil 9 Kare Planlı Diagrid ve Geleneksel Çerçevesel Bina Modellerinin İtme Eğrileri

Şekil 10’da 67,4° diyagonal açığa sahip diagrid bina modelinin geleneksel diyagonal elemanlar ve burkulmaya karşı dirençli diyagonaller kullanılarak tasarlanması ile elde edilen itme eğrileri verilmektedir. Geleneksel diyagonal elemanların, burkulmaya karşı dirençli olanlar ile değiştirilmesi hem dayanımı hem de sünekliği arttırmaktadır. Ayrıca, plastik mafsalların burkulmaya karşı dirençli diyagonaller ile tasarlanan modelde başlangıç modeline kıyasla daha geniş bir alana yayıldığı gözlenmiştir (Kim ve Lee, 2012: 747-748).

Tüm diyagonallerin burkulma dirençli destekler ile değiştirilmesinin ekonomik açıdan pratik olmadığını değerlendiren Sadeghi ve Rofooei (2020: 1-2, 13) diagrid modellerindeki geleneksel diyagonallerin bir kısmının burkulma dirençli olanlar ile değiştirildiği bir yapısal tasarım önerisi sunmuştur. Çalışma kapsamında, 45°; 63,4° ve 71,5° gibi çeşitli diyagonal açılar ile tasarlanan 8 ve 12 katlı toplamda 12 çelik diagrid modeli üzerinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Sunulan tasarım önerisinin kullanımının geleneksel diyagonaller ile tasarlanan durumlara kıyasla genel olarak sismik performans faktörlerini iyileştirdiği gözlenmiştir.



Şekil 10 Geleneksel Diyagonaller ve Burkulmaya Karşı Dirençli Diyagonaller ile Tasarlanan Diagrid Bina Modellerinin (67,4°) İtme Eğrileri

Asadi vd. (2018: 5-6, 41-42) çelik diagrid yapıların sismik performans değerlendirilmesi ve kayıp tahmini için kriterlerin önerildiği kapsamlı bir çalışma yürütmüştür. Çalışma kapsamında, 45°, 63° ve 72° gibi çeşitli diyagonal açılar ile tasarlanan 4, 8, 15 ve 30 katlı diagrid yapı modelleri üzerinde doğrusal olmayan statik itme, zaman tanım alanı ve artımlı dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, diyagonal açının toplam kayıp üzerinde büyük bir etkisi olduğu ve uygun grid geometrisinin seçiminin yapısal tasarımda önemli bir adım olduğu değerlendirilmiştir. Diagrid binaların sahip olduğu büyük göçme kapasitelerinin, yapısal bileşenlerin beklenen toplam kayıp üzerindeki katkısını azaltabileceği düşünülmüştür. Ancak genel olarak aşırı görelî kat ötelenmelerine karşı savunmasız yapısal olmayan bileşenlerin beklenen toplam kayıp üzerindeki büyük bir katkısı olacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca, tamamlanmamış modül varlığının sismik performansı ve toplam kaybı olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Milana vd. (2015: 383-384) 42°, 60° ve 75° gibi çeşitli diyagonal açılar ile tasarlanan ve 36x36 m kare plana sahip 40 katlı diagrid yapı modelleri üzerinden çelik diagrid ve dış destek yapılarını sürdürülebilirlik ve yapısal performans açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Diagrid yapısal sistemlerin kullanımıyla dış destek modellerine kıyasla çelik malzeme kullanımında 33%'e varan bir azalma gözlemlenmiştir.

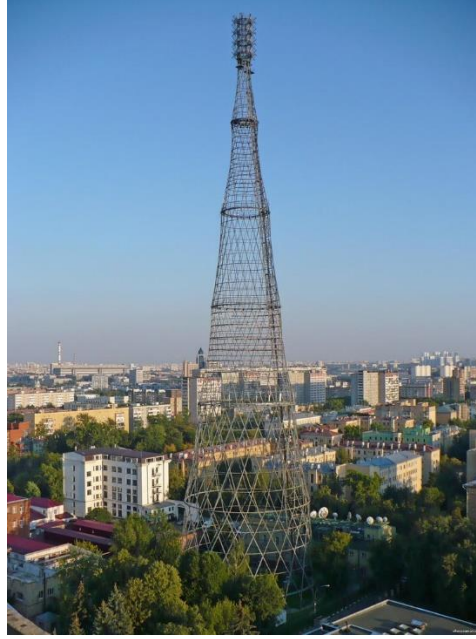
Malzeme kullanımı ve kapasite eğrilerine bağlı genel olarak en iyi konfigürasyona sahip modelin 60° diyagonal eğime sahip diagrid bina modeli olduğu belirlenmiştir. Seçilen model, ağırlık açısından en iyi konfigürasyon olmasa da dayanım ve rijitlik açısından yüksek bir performansa sahiptir. Bu diagrid konfigürasyonunda altı farklı hasar senaryosu dikkate alınarak (diyagonal çıkarma) itme ve itme + düşey yük durumları için kapasite eğrileri de değerlendirilmiştir. Genel olarak, iç kolonların tabanındaki mafsalların nihai kapasiteye ulaştığı gözlenmiştir. Performans düşüşleri dikkate alındığında artık kapasitelerin genellikle iyi olduğu çıkarımında bulunulmuştur. Çalışma sonucunda, diagrid modellerinin, ele alınan diğer yapısal sistem modellerine kıyasla malzeme kullanımı, rijitlik, dayanım ve süneklik açısından daha avantajlı olduğunu bulunmuştur (Milana, vd. 2015: 385-389).

C. Tarihsel Gelişim

Diagrid binaların örnek alındığı düşünülen; yapıyı inşa etmek için yalnızca üçgensel modüllerin kullanımı, Rus mimar Viladimir Shukhov tarafından tasarlanan ve 1920'lerde inşa edilen hiperbolik formlu Shukhov radyo kulesinde (Şekil 11) ilk kez görülmektedir (Boake, 2014: 13,19; Korsavi ve Maqhareh, 2014: 1-2; Wmf.org, 2021). Ardından, 1953 yılında Godsmith yürüttüğü akademik çalışmada yüksek katlı binalar için üç farklı kombinasyonda diyagonal yapısal çözüme sahip diagrid yapı tasarımı önermiştir (Goldsmith, 1953). Ancak, diagrid yapı sistemlerinin binalardaki ilk modern uygulaması 1960'ların başlarında inşa edilen 13 katlı IBM binasıdır (Moon, vd. 2007: 206). Bu diagrid uygulamasından sonra yaygın ilgi mega diyagonaller kullanılan güçlendirilmiş veya kafes kirişli boru biçimli elemanlar kullanan yapılara kaymıştır (Mele, vd. 2014: 124).

1980'lerin başlarında Humana Genel Merkez binası yarışmasında Sir Norman Foster tasarımı diagrid bir yapı önerilse de kazanan post modern bir çalışma olmuştur (Moon, vd. 2007: 206). Ancak daha sonrasında, 2000'lerin başlarında inşa edilen ve Sir Norman Foster tarafından tasarlanan Swiss Re (Şekil 12 a) ve Hearst Tower (Şekil 12 b); yüksek katlı binaların tasarımında diagrid sistemlerin kullanımının geleneksel çerçeve sistemlere göre yapısal verim ve estetik potansiyel açısından avantajlı olduğuna referans sağlayan önemli örnekler olmuştur (Ali ve Moon, 2007: 215; Korsavi ve Maqhareh, 2014: 2; Fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe,

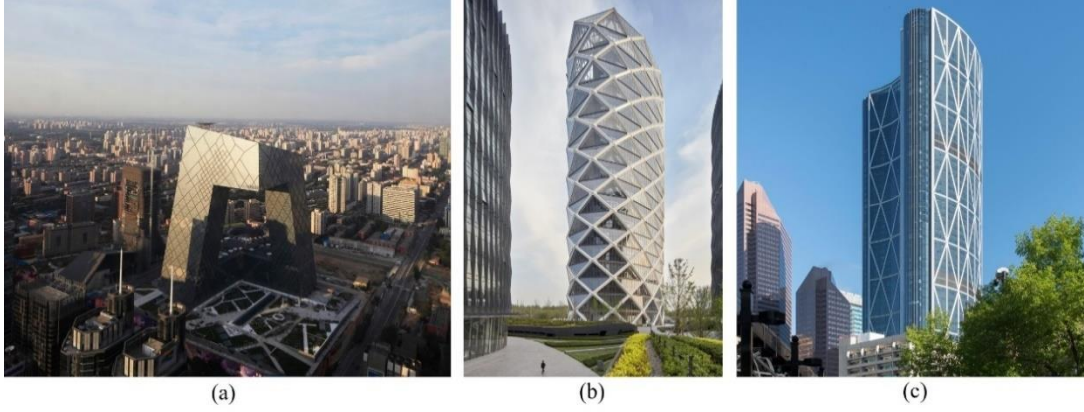
2021; Fosterandpartners.com/projects/hearst-headquarters, 2021). Yakın dönem tasarımlarında ise kompleks geometriler ve kıvrımlı şekiller bazen tamamıyla serbest formlara bir yönelim vardır (Mele, vd. 2014: 124). Çin'deki CCTV-Headquarters (Şekil 13 a), Poly International Plaza (Şekil 13 b), Guangzhou West Tower; Kore'deki Lotte Tower ve Kanada'daki The Bow Tower (Şekil 13 c) son yıllarda inşa edilen önemli diagrid yapı örnekleri arasında yer almaktadır (Korsavi ve Maqhareh, 2014: 3-4; Oma.com, 2021; Som.com, 2021; Fosterandpartners.com/projects/the-bow, 2021).



Şekil 11 Shukov Radyo Kulesi



Şekil 12 a) Swiss Re-30 Saint Mary Axe, b) Hearst Tower



Şekil 13 a) CCTV-Headquarter, b) Poly International Plaza, c) The Bow Tower

D. Ön Tasarım Yaklaşımları

Diagrid yapılardaki ön tasarım için ilk yaklaşım Moon vd. (2007: 219) tarafından önerilmiştir. Diagrid yüksek binalardaki çekirdeğin toplam yanal rijitliğe katkısı düşük olduğundan; tüm yanal rijitliğin çevre diagridlerine tahsis edilmesiyle idealleştirilen rijitliğe dayalı bir ön tasarım yaklaşımıdır. Önerilen prosedür yapının tepe ötelenmesi için eğilme ve kesme deformasyonlarının katkılarının belirlenmesiyle başlar (Mele, vd. 2019: 86; Moon, vd. 2007: 219).

Yüksek katlı yapılar, bir konsol kiriş olarak basitleştirildiğinde; yanal kuvvetlere kesme kuvveti ve devrilme momenti ile karşı konulacaktır. Kiriş uzunluğundaki artış ile kesme kuvveti neredeyse doğrusal olarak artarken, yanal sapma ve devrilme momentindeki artış daha hızlı olacaktır. Ayrıca, yapı yüksekliğinin artışıyla eğilme rijitliğindeki talep, dayanım talebinden daha hızlı artacaktır (Mele, vd. 2019: 86-88). Buradan, yapı yüksekliğinin beş yüzde biri olarak tanımlanan maksimum tepe yer değiştirmesinin tasarım parametresi olarak alındığı narin yüksek bir yapı tasarımının genellikle dayanımdan ziyade yanal rijitlik tarafından yönetildiği anlaşılmaktadır (Moon, 2008: 240). İdeal tasarım için statik olarak tanımlandığı ve bir konsol kiriş olarak modellendiği varsayılan diagrid yapılarında, tekdüze eğilme ve kesme deformasyonu katkılarının toplamı,

$$u(H) = \gamma^*h + \frac{\chi^*h^2}{2} = \frac{H}{\alpha} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada γ^*h kesme deformasyonunun katkısı ve $\chi^*h^2/2$ eğilme deformasyonunun katkısını belirtir. Yapının tepesindeki eğilme nedeniyle oluşan

deformasyonun kesme nedeniyle oluşan deformasyona oranı olan s faktörüne bağlı elde edilen γ^* ve χ^* fonksiyonları sırasıyla Denklem 5 ve 6'da verilmektedir (Moon, vd. 2007: 220-221).

$$\gamma^* = \frac{1}{(1+s)\alpha} \quad (5)$$

$$\chi^* = \frac{2s}{H(1+s)\alpha} \quad (6)$$

İdeal tasarım çözümünün elde edilebilmesi için s oldukça önemli bir parametredir. Bu nedenle, eğilme ve kesme etkilerinin sebep olduğu yapının tepe yer değiştirmesini sınırlandırmak için gerekli diyagonal alanlarının yapının hangi bölgelerinde ve ne oranlarda ideal tasarımı temsil ettiğinin belirlenmesi gerekir (Moon, vd. 2007: 225).

Montuori vd. (2013: 1298-1299) Euler–Bernoulli ve Timoshenko kiriş teorilerinden yola çıkarak kesme kuvvetine gövde; devrilme momentine flanş düzlemindeki diyagonallerle karşı konulduğu varsayımıyla; rijitliğe dayalı tasarım yaklaşımı için ideal s faktörünün alternatif tanımı olarak,

$$s = \frac{0,19}{\tan\theta} \left(\frac{H}{B}\right)^2 \quad (7)$$

denklemini önerir.

Diyagonal elemanların sadece aksenal kuvvetler vasıtasıyla gerekli yanall rijitliği sağladığı varsayımıyla, talep edilen enine kesme ve eğilme rijitliği değerlerini tanımlayan denklemler sırasıyla Denklem 8 ve 9'da verilmektedir.

$$K_T = \frac{V_m}{\gamma^* h} \quad (8)$$

$$K_B = \frac{M_m}{\chi^* h} \quad (9)$$

Diagrid modülünün kesme ve eğilme rijitliği kapasiteleri diagrid özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sırasıyla Denklem 10 ve 11'de verilmektedir.

$$K_T = 2N_w \left(\frac{A_{d,w} E}{L_d} \cos^2 \theta \right) \quad (10)$$

$$K_B = N_f \left(\frac{B^2 A_{d,w} E}{2L_d} \right) \sin^2 \theta \quad (11)$$

Rijitlik kapasitesi ve talep denklemlerinin eşitlenmesi ile gerekli deformasyon değerlerini diyagonal en kesit alanlarına dönüştüren denklemler elde edilir.

$$A_{d,w} = \frac{V_m L_d}{2N_w E h \chi \cos^2 \theta} \quad (12)$$

$$A_{d,f} = \frac{2M_m L_d}{N_f B^2 E h \chi \sin^2 \theta} \quad (13)$$

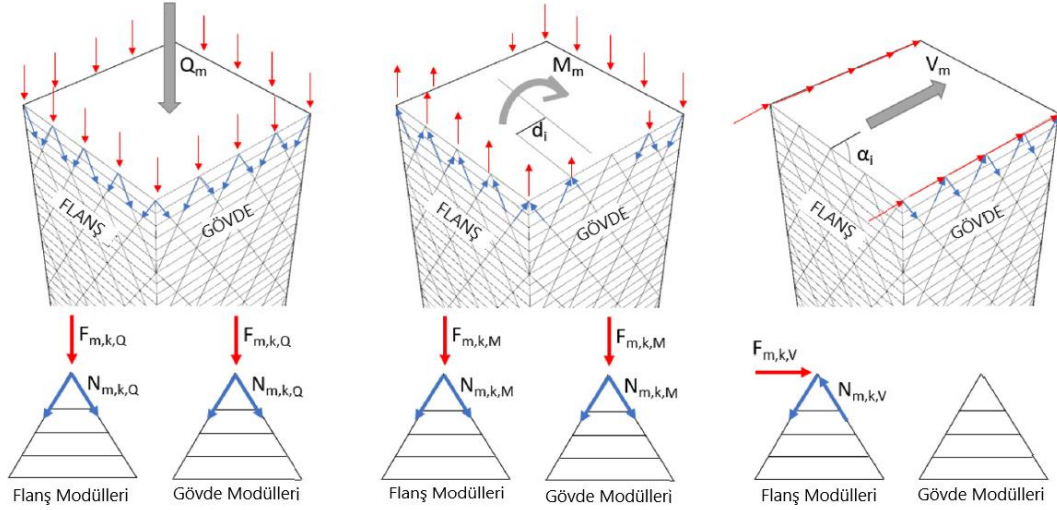
Her kat seviyesinde modüle etkileyen yük etkileri değişse de her modül için her iki yöndeki yükleme düşünülerek tek bir gövde ve flanş kesit alanı belirlenir (Mele, vd. 2019: 86-87).

Belirli durumlarda diagrid yapılarıdaki baskın tasarım kriterinin rijitlikten dayanıma kayabilmesinin muhtemel olduğunu değerlendiren Montuori vd. (2013: 1299) dayanıma dayalı bir ön tasarım yaklaşımı önermiştir. Önerilen yaklaşımda, yerçekimi ve rüzgar yüklerine karşı diagrid modülündeki direnç mekanizmasından yola çıkılarak diyagonal eksenel kuvvetlerine ulaşılmasını sağlayan denklemler türetilmiştir. Ardından dayanım gereksinimlerine göre diyagonal en kesit alanlarının boyutlandırılması adımı izlenmektedir.

Diagridler de dayanıma dayalı ön tasarım yaklaşımının geliştirilmesinde kullanılan çeşitli yük etkilerine bağlı diyagonal direnç mekanizmasının şematik gösterimi Şekil 14'te verilmektedir (Mele, vd. 2019: 86). Yer çekimi yüklerinin (Q_m) yapı şaftındaki m-inci modülün k-ıncı üçgen şeması üzerinde oluşturduğu aşağı yönlü kuvvet ($F_{m,k,G}$) etkisindeki eksenel basınç kuvveti Şekil 14 yardımıyla aşağıdaki gibi türetilir.

$$N_{m,k,Q} = \frac{F_{m,k,G} \sin \theta}{2} = \frac{0,375 Q_m \sin \theta}{2n_k} \quad (14)$$

Denklik türetilirken merkezi çekirdeğin toplam taban alanının çeyreğini kapladığı varsayılarak, çevre diagridin yer çekimi yükünün %37,5'ini paylaştığı kabul edilir.



Şekil 14 Diagrid Modülündeki Yükler ve İç Kuvvetler

Yapıya etkileyen rüzgar yükü, modül seviyesinde devrilme momenti (M_m) ve kesme kuvveti (V_m) oluşturur. Yönü ve değeri modülün konumuna bağlı olan devrilme momentinin etkisinde tanımlanan dikey $F_{m,k,M}$ kuvvetinin genel modül diyagonallerinde oluşturduğu aksel kuvvet denkliği,

$$N_{m,k,M} = \pm \frac{F_{m,k,M} \sin \theta}{2} = \pm \frac{M_m d_k \sin \theta}{2 \sum_{i=1}^{n_k} d_i^2} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilir. Şiddeti, kesme kuvveti etkisinde tanımlanan $F_{m,k,V}$ kuvvetinin yönü ile rüzgar yönü arasındaki eğime bağlı olan yatay kuvvetin genel modül diyagonallerinde oluşturduğu aksel kuvvet denkliği de,

$$N_{m,k,V} = \pm \frac{F_{m,k,V} \cos \theta}{2} = \pm \frac{V_m \cos \alpha_k \cos \theta}{2 \sum_{i=1}^{n_k} \cos \alpha_i} \quad (16)$$

şeklinde ifade edilir. Tüm yükleme koşulları dikkate alınarak hesaplanan üç aksel kuvvet katkısının toplamından diyagonal kesitlerinin boyutlandırılması ile prosedür tamamlanır. Diyagonal uzunluk boyunca değişen yük etkilerine rağmen, modül tabanındaki yükler tasarım için kullanılarak her modül için tek bir en kesit alanı belirlenmektedir.

Belirli durumlarda yapı şaftı boyunca tasarım kriterindeki eğilimde farklılıklar gözlemlenebilir. Tasarım değişkenleri düşünüldüğünde, baskın yaklaşımın önceden tahmini mümkün olmadığından diyagonallerin boyutlandırılması için rijitlik ve dayanım ayrı ayrı ele alınmalıdır (Montuori, vd. 2013: 1299-1301, 1312).

Mele vd. (2019: 83-84, 88) diagrid yapılarıdaki baskın tasarım kriteri ve optimum diyagonal açı üzerinde narinlik etkisini araştırmışlardır. Ayrıca, minimum yapı ağırlığı koşuluyla baskın tasarım kriterinin dayanım olduğu durum için elemanların talep-kapasite oranına; rijitlik olduğu durumda ise bina tepe ötelenmesine bağlı olarak sınırlandırıldığı boyutlandırma optimizasyonu sürecine dayalı tasarım önerisi sunmuşlardır. Optimizasyon süreciyle, dayanım ve rijitlik kriterleri aynı anda değerlendirilerek tasarımı yöneten talebe göre elemanların boyutlandırılabilmesi sağlanır.

E. Yapısal Analiz

Literatür incelendiğinde, diagrid yapıların yapısal analizi için sonlu elemanlar metodunun (FEM) yaygın kullanımı görülmektedir. Ayrıca, yapısal modelin sadeleştirilmesiyle genel davranışın hızlı bir değerlendirilmesine izin veren alternatif basitleştirilmiş yaklaşım önerileri de bulunmaktadır.

Mele vd. (2014: 126-130) yatay ve düşey eğrilik bulunan eğrisel diagrid yapıların davranışının da değerlendirilebileceği bir metot önerisinde bulunmuştur. Önerilen metot; yer çekimi, devrilme momenti ve yatay kesme kuvveti etkileriyle tek üçgen modülünde oluşan iç kuvvetlerin eğrilik etkileri de dikkate alınarak değerlendirmesine dayanmaktadır. Diagrid yapıların yapısal analizinde kullanılan diğer metotlardan olan modüler metot (MM) ve matris tabanlı metot (MBM) aşağıdaki alt bölümlerde detaylı olarak işlenmiştir.

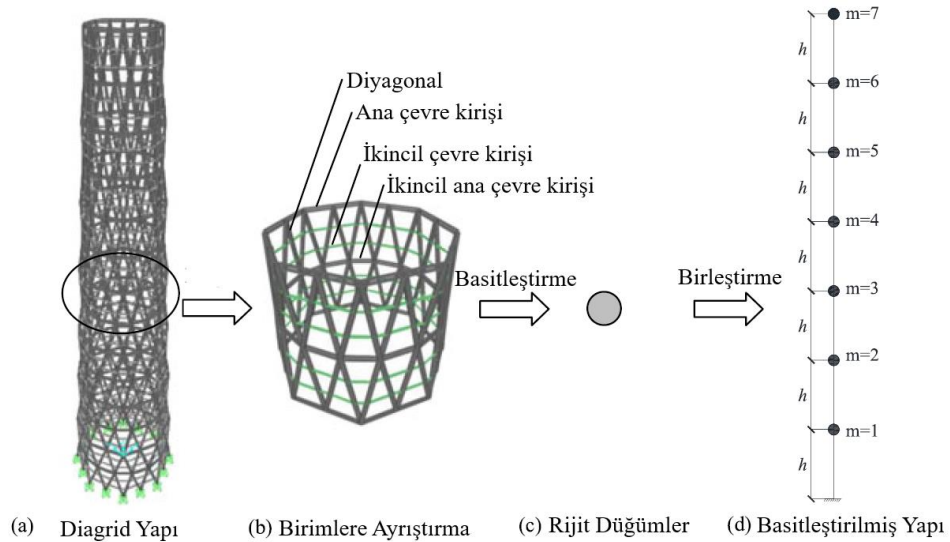
1. Modüler Metot

Liu ve Ma (2016: 3-6) çok köşeli plan şekline sahip ve boru biçimli diyagonaller ile oluşturulan diagrid yapıların yapısal analizi için MM ve yanal rijitlik hesaplama modeli önermiştir. Çok köşeli plan şekline sahip diagrid yapıların yanal rijitliğinin hesaplanabilmesi ve γ açısının 90° küçük olduğu durumlarda da uygulanabilirliğiyle Moon vd. (2007: 219) tarafından önerilen yaklaşımdan farklılık göstermektedir.

MM, yanal rijitlikleri hesaplanan diagrid modüllerinin birbirine elastik çubuklar ile bağlanan düğümler olarak basitleştirilmesine dayanan bir yaklaşımdır (Şekil 15). Böylece sonlu elemanlar analiz modeli oluşturulmasına gerek kalmadan düğümlerde hesaplanan yanal yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişim eğrisine ulaşılabilmektedir. Modül m için yanal yer değiştirme (u_m), kesme yer değiştirmesi (u_{vm}) ve eğilme yer değiştirmesi (u_{mm}) katkılarının toplamıdır. İlgili modülün kesme rijitliği (K_{vm}) ve eğilme rijitliğine (K_{mm}) bağlı olarak yer değiştirme katkıları aşağıdaki gibi türetilebilir.

$$u_{vm} = \frac{V_1}{K_{v1}} + \frac{V_2}{K_{v2}} + \dots + \frac{V_m}{K_{vm}} \quad (17)$$

$$u_{mm} = \frac{M_1}{K_{m1}} hm + \frac{M_2}{K_{m2}} h(m-1) + \dots + \frac{M_m}{K_{mm}} h[m-(m-1)] \quad (18)$$



Şekil 15 Modüler Metodun Şematik Gösterimi

Önerilen metotta yanal yer değiştirme eğrisine ulaşabilmek için modül yanal rijitlikleri birimlere ayırmaya dayalı hesap modeli ile elde edilir. Önerilen hesap modelinde yapı direnç mekanizmasının sadece diyagonal aksenal kuvvetler ile sağlandığı, diyagonallerin doğrusal elastik bölgede kaldığı ve düzlem kesiti varsayımına uygun deformasyon gösterdiği varsayılır.

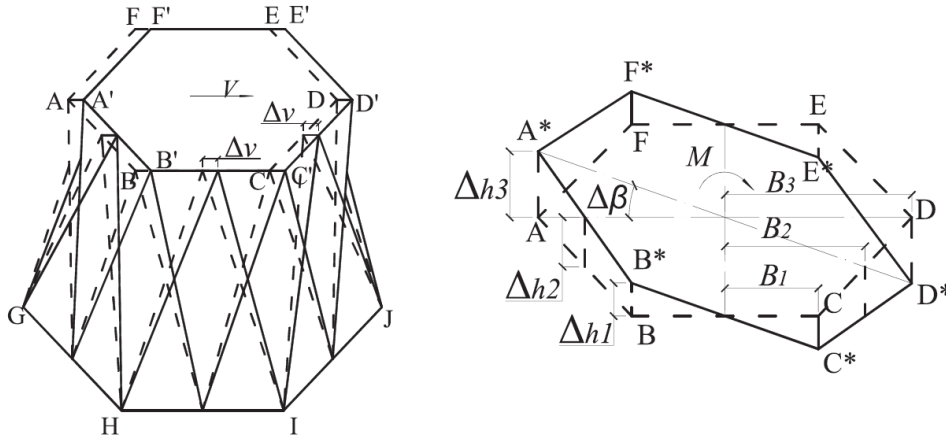
Kesme rijitliği, modülün birimsel yatay yer değiştirmesi için gereken kesme kuvveti olarak tanımlanır. Modül kesme kuvvetine maruz kaldığında toplam modül

direnç kuvvetinin cephe diyagonallerinde tanımlanan aksel kuvvet bileşenleri ile yatay kesmeye karşı direnç gösterir. Yapı direnç mekanizmasının sadece diyagonal aksel kuvvetleri ile sağlandığı kabulüyle oluşturulan kuvvet denge denklemleri ve geometrik ilişkilerden yararlanılarak aşağıdaki kesme rijitliği eşitliğine ulaşılır.

$$K_v = \frac{EA \cos^2 \theta \sin \theta \sin \gamma}{h} \sum_{i=1}^N \cos^2 \alpha_i + \frac{EA \sin^3 \theta \cos^2 \gamma \sin \gamma}{h} \sum_{i=1}^N \sin^2 \alpha_i \quad (19)$$

Şekil 16'da, MM'e göre eğilme rijitliğinin hesaplanması için diyagram verilmektedir. Eğilme rijitliği, düzlem kesit varsayımı kabulüyle modülün çevre kiriş düzleminin birimsel $\Delta\beta$ açısı ile dönmesi için gereken eğilme momenti olarak tanımlanır. Modülün moment dengesinden ve geometrik ilişkilerden yararlanılarak aşağıdaki eğilme rijitliği eşitliğine ulaşılır.

$$K_m = \frac{EA \sin^3 \theta \sin^3 \gamma}{h} \sum_{i=1}^N B_i^2 \quad (20)$$



Şekil 16 Modüler Metoda Göre Eğilme Rijitliği Hesap Diyagramı

Çeşitli cephe eğimleri ve çok köşeli plan şekillerine sahip modeller üzerinde MM ile FEM sonuçları yatay yer değiştirme açısından karşılaştırılarak doğrulanmıştır (Liu ve Ma, 2016: 6-9).

2. Matris Tabanlı Metot

Lacidogna vd. (2019: 341) diagrid yapıların yapısal analizi için Moon vd. (2007: 219) ile aynı varsayımlara dayanan matris tabanlı yeni bir metot

önermişlerdir. Diagrid yapılar için yapısal problem, genelleştirilmiş Hooke yasasından yararlanılarak yapıya etkiyen dış kuvvet ve bilinmeyen kat deplasmanlarının vektörünü yapının rijitlik matrisiyle birbirine bağlayan matris ilişkisi olarak tanımlanır (Scaramozzino, 2020: 10-11; Lacidogna, vd. 2019: 341-342). MBM’de yalnızca çevre kirişlerinin bulunduğu katlardaki (rijit katlar) serbestlikler dikkate alınmaktadır. Ele alınan çalışmada, MBM konusunun işlendiği kısımda kat terimiyle rijit katların kastedildiğine dikkat edilmelidir. N kattan oluşan serbest formlu üç boyutlu diagrid yapı için yapısal problem, kat başına altı serbestlik derecesinin (üç öteleme ve üç dönüş) katkılarının dikkate alındığı matris ilişkisiyle aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{Bmatrix} \{F_x\} \\ \{F_y\} \\ \{M_z\} \\ \{M_x\} \\ \{M_y\} \\ \{F_z\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{F_x\delta_x}] & [K_{F_x\delta_y}] & [K_{F_x\varphi_z}] & [K_{F_x\varphi_x}] & [K_{F_x\varphi_y}] & [K_{F_x\delta_z}] \\ [K_{F_y\delta_x}] & [K_{F_y\delta_y}] & [K_{F_y\varphi_z}] & [K_{F_y\varphi_x}] & [K_{F_y\varphi_y}] & [K_{F_y\delta_z}] \\ [K_{M_z\delta_x}] & [K_{M_z\delta_y}] & [K_{M_z\varphi_z}] & [K_{M_z\varphi_x}] & [K_{M_z\varphi_y}] & [K_{M_z\delta_z}] \\ [K_{M_x\delta_x}] & [K_{M_x\delta_y}] & [K_{M_x\varphi_z}] & [K_{M_x\varphi_x}] & [K_{M_x\varphi_y}] & [K_{M_x\delta_z}] \\ [K_{M_y\delta_x}] & [K_{M_y\delta_y}] & [K_{M_y\varphi_z}] & [K_{M_y\varphi_x}] & [K_{M_y\varphi_y}] & [K_{M_y\delta_z}] \\ [K_{F_z\delta_x}] & [K_{F_z\delta_y}] & [K_{F_z\varphi_z}] & [K_{F_z\varphi_x}] & [K_{F_z\varphi_y}] & [K_{F_z\delta_z}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_x\} \\ \{\delta_y\} \\ \{\varphi_z\} \\ \{\varphi_x\} \\ \{\varphi_y\} \\ \{\delta_z\} \end{Bmatrix} \quad (21)$$

Rijitlik alt matrisleri, her bir kuvvet-moment vektörü ile yer değiştirme-dönme vektörünün ilişkilendirilmesini sağlar. Rijitlik matrisi hesaplanırken öncelikle alt matrislerinin rijitlik katsayılarının elde edilmesi gerekmektedir. $k_{i,j}$ genel terimiyle tanımlanan rijitlik katsayılarının hesabı için izlenen prosedür ikinci alt indisle belirtilen kata birimsel yer değiştirme veya moment uygulanmasıyla başlar. Ardından deforme olmuş modüllerdeki diyagonallerin deformasyonu değerlendirilir. Doğrusal elastik davranış varsayımıyla hesaplanan diyagonal aksenal kuvvetlerinden ilk alt indisle belirtilen kattaki toplam tepki kuvveti ve momentlerinin değerlendirilmesiyle rijitlik katsayıları elde edilir. Önerilen prosedürün tüm yapıya uygulanmasıyla genel yapı rijitlik matrisine ulaşılır (Lacidogna, vd. 2019: 342, 346-347).

MBM’de rijitlik matrisi hesap prosedürü, MM kullanılarak yanal yer değiştirme hesabında benimsenen şemaya benzerdir (Scaramozzino, 2020: 11). Ancak FEM genel rijitlik matrisine yapısal elemanların rijitlik matrislerinden yola çıkılarak çeşitli kısıtlar altında yapı boyutuna genişletilmesiyle ulaşır. Bu durum, her ikisinin de matris hesabına dayalı olmasına rağmen ele alınan yapısal problemin FEM’deki çözümünde bilinmeyen (serbestlik) sayısının MBM’e kıyasla daha fazla

olmasını neden olur (Lacidogna, vd. 2019: 341, 349). Ayrıca MBM’de kesme ve eğilme rijitliklerinin yanı sıra dikey ve burulma rijitliklerinin ilişkilerini içeren çok sayıda alt matriste değerlendirildiğinden MM’den daha kapsamlıdır (Scaramozzino, 2020: 11).

Denklem 21’deki matris ilişkisinde yer alan rijitlik matrisinin hesaplanmasından sonra, denklem ters çevrilerek yer değiştirme ve dönmelerin hesabında kullanılacak denkleğe ulaşılabilir. Ayrıca, rijit katların deformasyonları bilindiğinde prosedürün türetilmesinde kullanılan birkaç adım tekrar uygulanarak diyagonallerdeki aksenal kuvvetler değerlendirilebilir. Önerilen metodu doğrulamak için çift yönde eğrilik barındıran Swiss Re Tower vaka çalışmasında MBM yapısal analiz sonuçları FEM sonuçlarıyla karşılaştırılarak tutarlılığı doğrulanmıştır (Lacidogna, vd. 2019: 347).

İlk olarak, üç boyutlu binaların dirençli elemanları (perde duvarlar ve çerçeve gibi) arasındaki yanal yüklem dağılımını analiz etmek için geliştirilen genel algoritma adı verilen metodolojiye göre, diagrid sistemli binalardaki dış diagrid ile binanın iç kısımlarındaki diğer dirençli elemanlar arasındaki yanal yüklem dağılımı değerlendirilebilir (Carpinteri ve Carpinteri An., 1985: 563).

Genel algoritma, dirençli elemanların aksenal olarak deforme olmadığı, düzlemlerinde deforme olmayan rijit katların olduğu ve kat başına üç serbestlik derecesinin dikkate alındığı gibi varsayımlara dayanmaktadır (Carpinteri ve Carpinteri An., 1985). Önerilen MBM uygulamasında modelin genel algoritma varsayımlarıyla uyumlu hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Denklem 21’de verilen matris ilişkisi aşağıda verildiği gibi yeniden düzenlenmektedir.

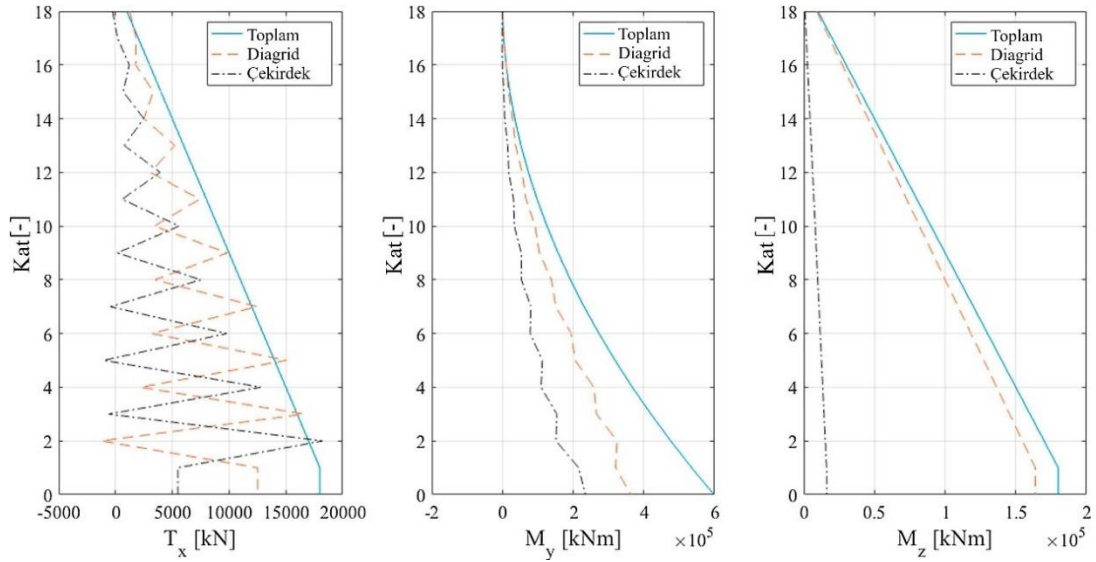
$$\begin{Bmatrix} \{F_H\} \\ \{F_V\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{HH}] & [K_{HV}] \\ [K_{VH}] & [K_{VV}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\delta_H\} \\ \{\delta_V\} \end{Bmatrix} \quad (22)$$

Yapıda yalnızca yatay serbestliklerin (kat başına üç serbestlik derecesi) dikkate alınmasıyla tüm varsayımları karşılayacak şekilde Denklem 22 aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\{F_H\} = ([K_{HH}] - [K_{HV}][K_{VV}]^{-1}[K_{VH}])\{\delta_H\} = [K_{HH}]^*\{\delta_H\} \quad (23)$$

Böylelikle diagrid rijitlik matrisinin ($[K_{HH}]^*$) eklenmesiyle genel algoritmaya göre dış diagrid ve diğer dirençli elemanlar arasındaki yanal yük dağılımı değerlendirilebilmektedir (Lacidogna, vd. 2019: 351).

Bir dış çelik diagrid ve merkezi çekirdek arasındaki yanal hareketlerin dağılımını değerlendirmek için genel algoritma çerçevesinde bir MBM uygulaması yapılmıştır. Çalışma kapsamında, 3,5 m eşit kat yüksekliğine sahip 18 katlı kare bir model ele alınmıştır. Yapı etkiyen eğilme ve burulma momentleri ile kesme değerleri Şekil 17’de verilmektedir. Burulma davranışının dış diagrid yapısal sistem tarafından yönetildiği açıkça görülmektedir. Taban kesmenin yaklaşık %70’ine diagrid yapısal sistem tarafından direnilmektedir. Ayrıca taban kesme değerlerinde bina yüksekliği boyunca bir salınım eğilimi dikkat çekmektedir (Lacidogna, vd. 2019: 350-352).

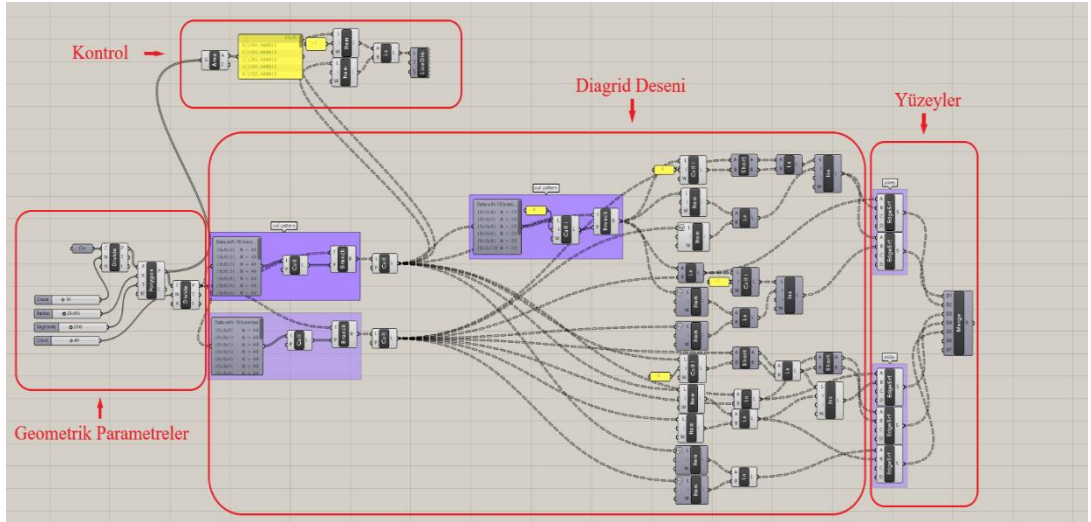


Şekil 17 Merkezi Çekirdek ile Birleştirilmiş Diagrid Sistemin Kesme Kuvvetleri, Eğilme ve Burulma Momentlerinin Dağılımı

III. MODELLERİN TANIMLANMASI VE TASARIMI

A. Parametrik Modelleme

Algoritmik tasarıma dayalı olarak parametrik yapısal modellerin oluşturulması için Rhino üç boyutlu modelleme programı ile Grasshopper algoritma eklentisi birlikte kullanılmıştır. Oluşturulan yapısal modellerin Sap2000 yazılımına uygun şekilde aktarımı için yine bir Grasshopper algoritması aracılığıyla noktasal koordinatlar, çerçeve ve alan bağlantıları olarak Excel formatında düzenlenmektedir. Moon, (2011: 1343-1348) mevcut karmaşık formlu kulelere benzer diagrid formlarda oluşturulan modellerin tasarım düşünceleri ve yapısal potansiyeline değindiği; eğim açıları ve dönme oranları gibi model geometrik parametrelerinin değişim etkisinin incelediği çalışmasında benzer şekilde parametrik yapısal modeller oluşturmuştur. Ayrıca, Çelebi'nin (2019: 88) çalışmasında görülebildiği gibi Grasshopper bileşenleri, serbest biçimli yüksek katlı diagrid modellerin ön yapısal analiz ve tasarımı için de aynı arayüz kullanımına izin vermektedir.



Şekil 18 Dairesel Planlı Model İçin Algoritmik Akış Planı

Bu çalışmada, Grasshopper yazılımı aracılığıyla dairesel model geometrisinin oluşturulmasında Şekil 18'de verilen algoritmik akış planı kullanılmaktadır. Akış planının ilk kısmında plan şekli, plan ölçüleri, yapı yüksekliği ve modül geometrisi

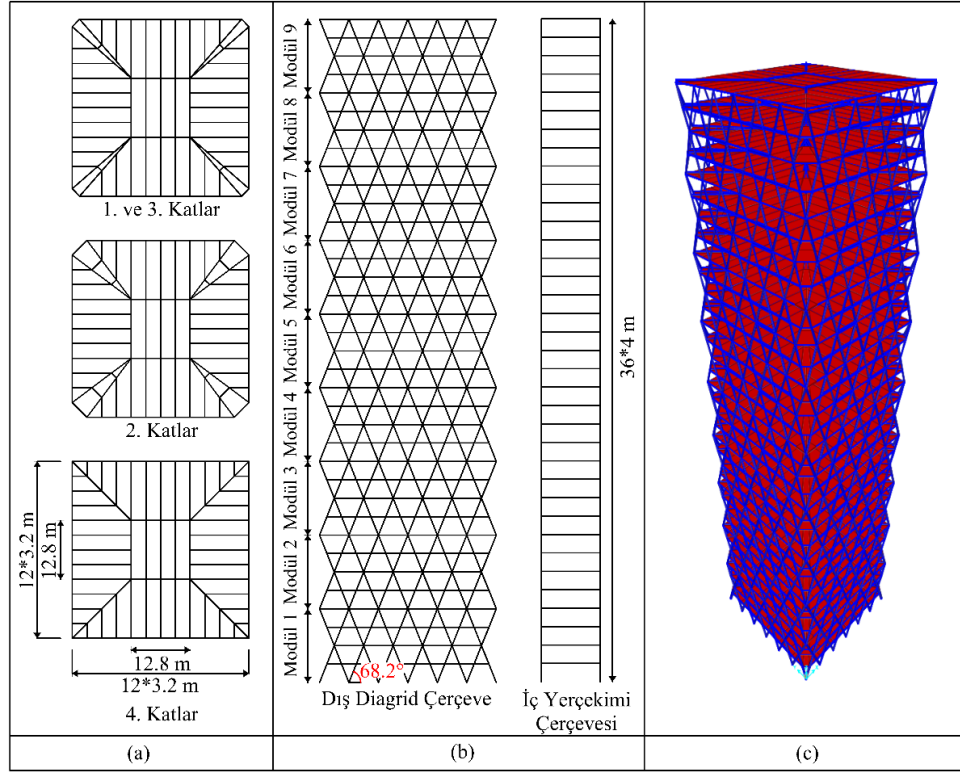
ile alakalı model geometrik parametreleri tanımlanır. İkinci kısımda, tanımlanan diyagonal bağlantı noktalarının uygun kombinasyonu ile diagrid deseni elde edilir. Son kısımda ise diyagonal çubukları ile çevrelenen yüzeylerin birleştirilmesiyle diagrid yapı modeli tamamlanmaktadır. Bunlara ek olarak akış planının belirli noktalarında kat planının ölçüleri ile ilgili kontrol adımları da bulunmaktadır. Eğimli ve kare parametrik yapısal modellerin oluşturulmasında da benzer akış planları kullanılmaktadır. Detaylı algoritmik akış planları dairesel ve kare planlı modeller için sırasıyla Ek-1 ve Ek-2' de verilmektedir.

B. Model Özellikleri

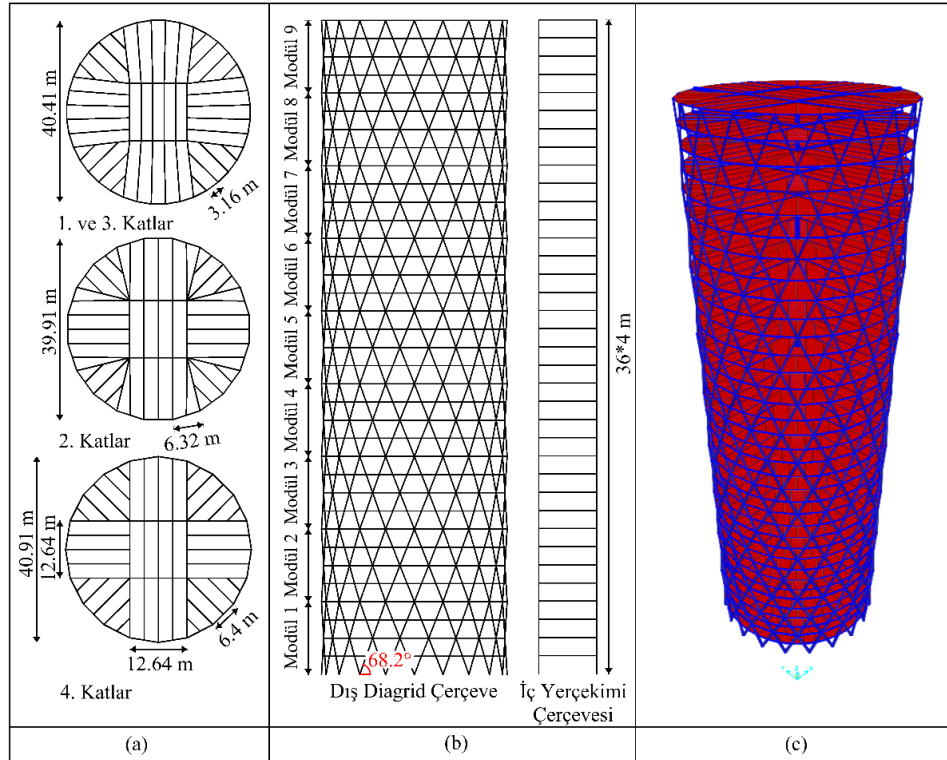
Yapılan çalışmada, 4 m eşit kat yüksekliğine ve diagrid çerçevelerde (iç ve dış) $68,2^\circ$ diyagonal açığa sahip 36 katlı altı diagrid bina modeli seçilmiştir. Değerlendirilen diagrid modelleri çevre boyunca 6,4 m aralıklı olarak yerleştirilen yapı diyagonallerinin oluşturduğu 4 katlı modüller içermektedir. Eğilme açıları, plan şekilleri ve yapısal çekirdek sistemlerinin yüksek katlı diagrid binaların sismik davranışına etkisinin araştırılması adına modeller 3 grupta tanımlanmıştır. Plan şekli etkisi, geleneksel düzgün düşey dairesel ve kare plan şekline sahip diagrid bina modelleri ile yansıtılacaktır. Kare ve dairesel modellere ait diagrid modüllerindeki kat planı değişimleri, çerçevelerin cephe ve modellerin perspektif görünümü sırasıyla Şekil 19 ve 20' de verilmektedir.

Diagrid yapısının genel davranışını yöneten önemli parametrelerden biri olan boy-en oranı, 38,4 m kenar uzunluğu ile kare planlı modellerde 3,75 ve yaklaşık 40,41 m ortalama çap ile dairesel planlı modellerde ise 3,56 olarak belirlenir.

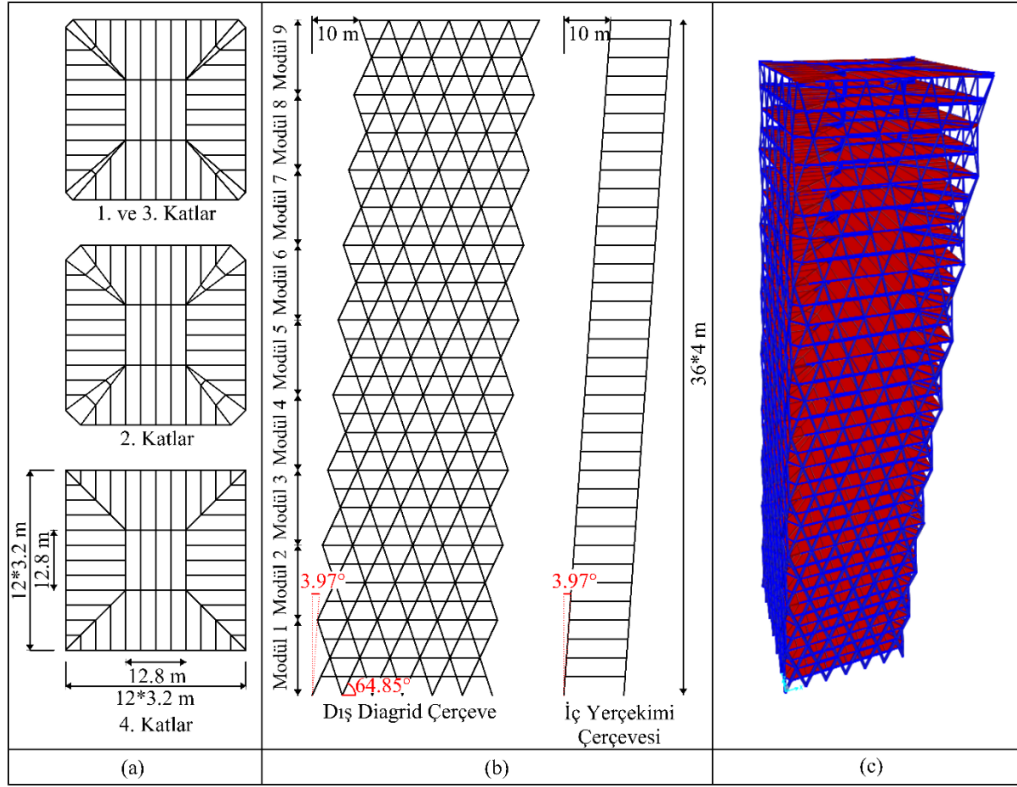
Eğilme açısının etkisi, çerçevelerdeki cephe düzlemi referans alındığında $3,97^\circ$ ve $7,91^\circ$ sabit açısal eğime sahip geleneksel kare planlı diagrid bina modelleri ile yansıtılacaktır. Belirli bir eğilme açısı ile tasarlanan modellerin diyagonal açılarında küçük farklar oluştuğuna dikkat edilmelidir. $3,97^\circ$ ve $7,91^\circ$ eğilme açısına sahip modellere ait diagrid modüllerindeki kat planı değişimleri, çerçevelerin cephe ve modellerin perspektif görünümü sırasıyla Şekil 21 ve 22' de verilmektedir. Eğilme açısının etkisiyle modül geometrisinde geleneksel kare plan şekline sahip diagrid bina modellerine göre farklılıklar görülmektedir.



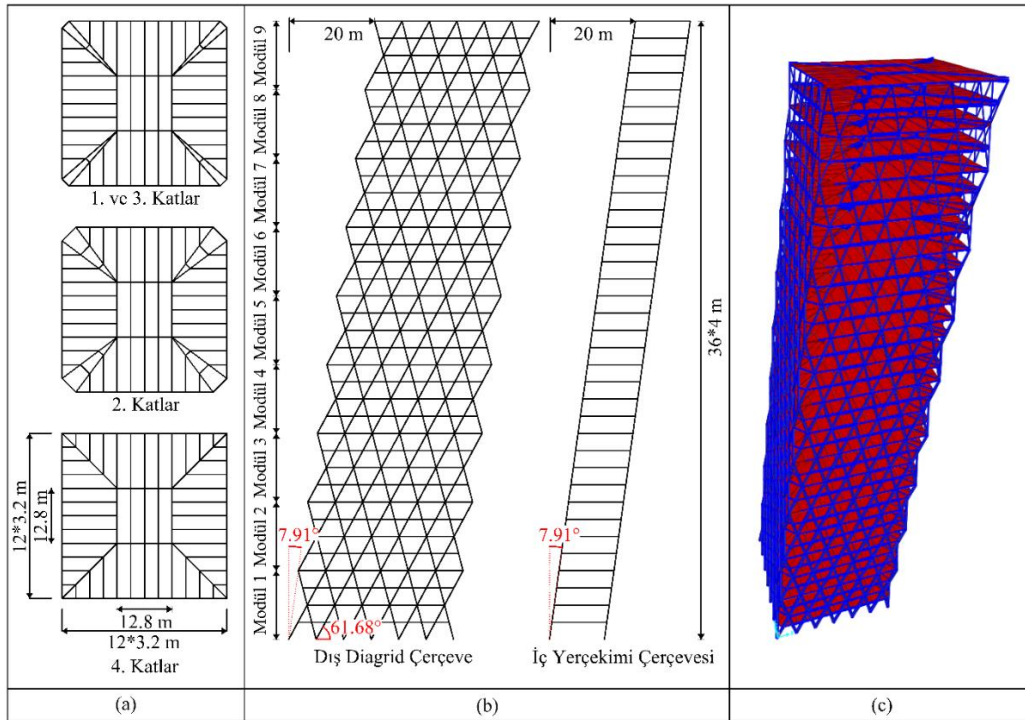
Şekil 19 KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü.



Şekil 20 DPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü



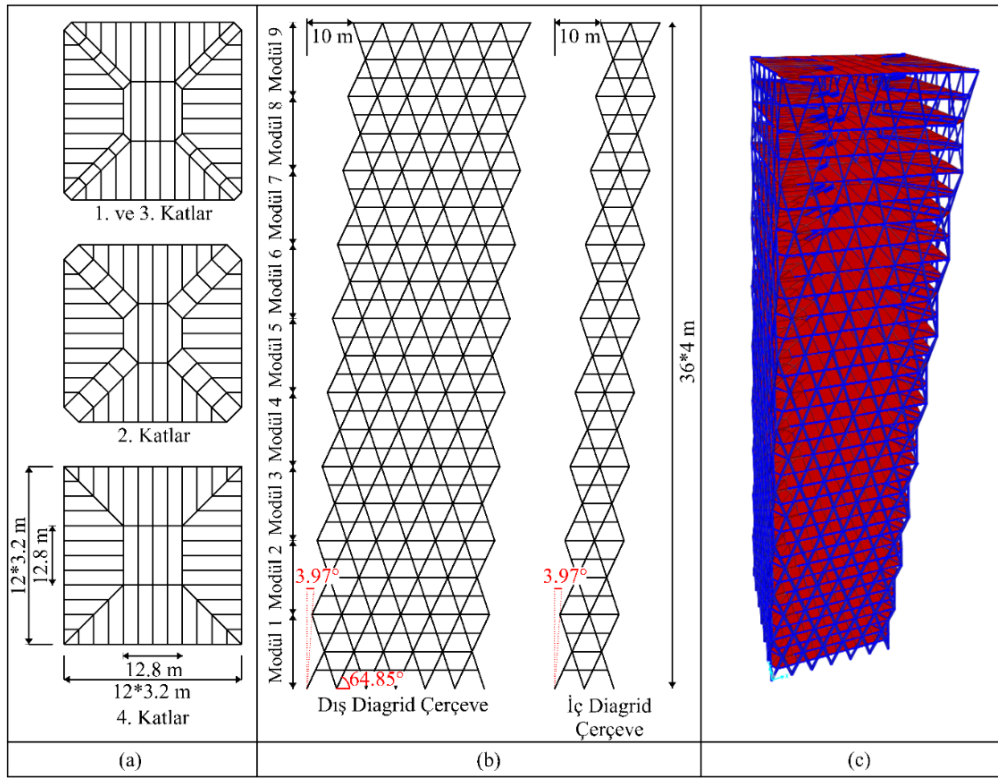
Şekil 21 E3,97-KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü



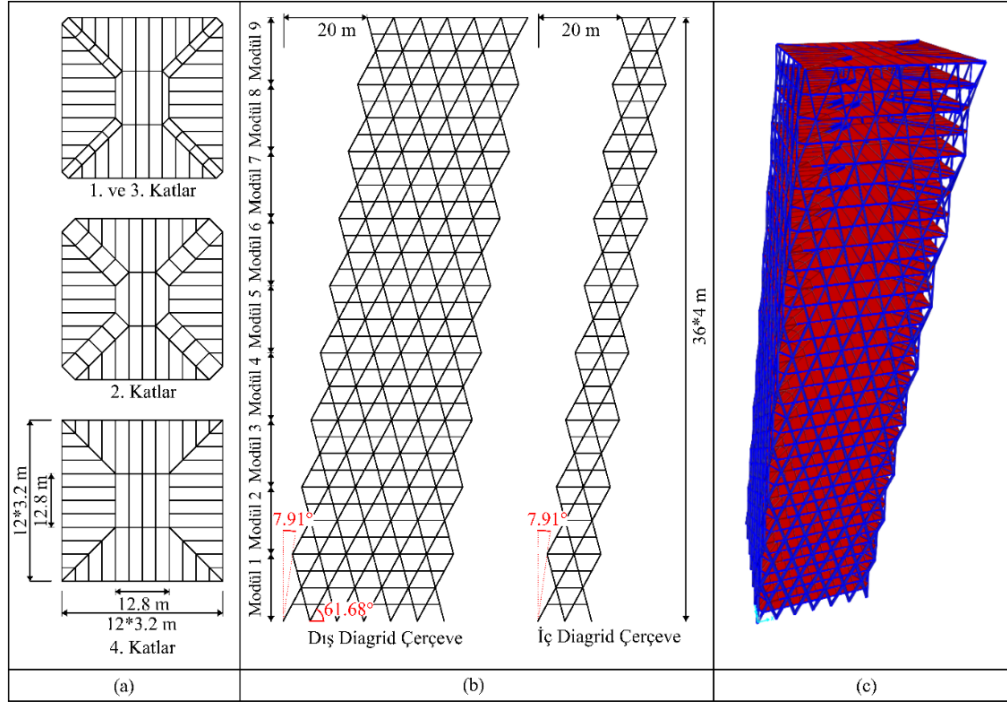
Şekil 22 E7,91-KPG Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü

Yapısal çekirdek sistemi seçiminin etkisi yukarıda belirtilen iki farklı eğilme açısıyla tasarlanan diagrid modellerinin iç çekirdek yapısının diagrid yapısal çekirdek olarak tasarlanması ile yansıtılacaktır. Çift katmanlı diagrid binalar, iç çerçevenin çevresi boyunca 6,4 m aralıklı olarak yerleştirilen yapı diyagonallerinin oluşturduğu 4 katlı modüller içermektedir. Ayrıca iç ve dış diagrid çerçevelerin diyagonal açısı aynı alınmıştır. 3,97° ve 7,91° eğilme açısına sahip çift katmanlı diagrid modellere ait diagrid modüllerindeki kat planı değişimleri, çerçevelerin cephe ve modellerin perspektif görünümü sırasıyla Şekil 23 ve 24’te verilmektedir.

Modellenen diagrid binalar; eğilme açısı, plan şekli ve yapısal çekirdek kullanılarak etiketlenmiştir. Örneğin E3,97-KPÇK; 3,97° eğilme açısına, kare plan şekline ve iç diagrid çekirdeğe sahip modeli tanımlamaktadır.



Şekil 23 E3,97-KPÇK Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü



Şekil 24 E7,91-KPÇK Diagrid Modelinin Modüllerindeki a) Kat Planı Değişimleri, b) İç ve Dış Çerçevelerin Cephe Görünümü, c) Perspektif Görünümü

C. Modellerin Yapısal Tasarımı

Çalışma kapsamında ele alınan modellerin diagrid yapısal elemanları American National Standard (2016a) tasarım koşulları ve American Institute of Steel Construction (2011) prosedürü takip edilerek Sap2000 paket yazılımında tasarlanmaktadır.

Diagrid sistemler çoğu tasarım kodunda depreme dayanıklı sistemlerden biri olarak tanımlanmamaktadır (Kwon ve Kim, 2014: 223). Bu nedenle taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) sismik tasarım yükünün tahmininde öncesinde yapılan çalışmalara benzer şekilde 3 alınmaktadır (Kim ve Lee, 2012: 737; Asadi ve Adeli, 2018a: 6; Kwon ve Kim, 2014: 223; Kim ve Kong, 2013: 1200; Kim ve Jung, 2013: 1360; Heshmati, vd. 2020: 114). ANS (2010) ve ANS (2016b) diagrid çerçeveler için belirli bir sismik değerlendirme sağlamaz (Asadi ve Adeli, 2018a: 6; Asadi, vd. 2018: 7). Ancak Asadi ve Adeli (2018a: 6) diagrid yapılarıdaki iç kolonların tasarımında bu sismik hükümlerde de geçen dayanım fazlalığı katsayısını içeren sismik yük kombinasyonlarını dikkate almaktadır. Yapılan çalışmada ise Sadeghi ve Rofooei'nin (2020: 3) çalışmasına benzer şekilde hangi diagrid yapı elemanlarının

dayanım fazlalığı katsayısı (Ω_0) dikkate alınarak tasarlanması gerektiğindeki belirsizlikten dolayı tasarım sürecinde kullanılmamıştır. Bir diğer sismik performans faktörü olan defleksiyon büyütme katsayısı (C_d) ise Heshmati ve diğerlerinin (2020: 114) çalışmasında olduğu gibi 3' e eşit varsayılmaktadır.

Diagrid sistemler için sismik tasarım kodlarında özel sismik değerlendirmeler bulunmadığından; Sadeghi ve Rofooei (2020: 3) SCBF gereksinimlerini tamamlayıcı tasarım kriteri olarak kullanırken, Asadi vd. (2018: 7) OCBF gereksinimleri ile tasarımın ardında OMF'ler olarak kontrol etmiştir. Yapılan çalışmada diyagonaller için narinlik oranı (λ) ANS'de (2010) belirtilen OCBF gereksinimlerine göre Denklem 24; içi boş boru profillerden oluşan diyagonal kesitlerin en-kalınlık oranı, kısmi ve genel burkulmayı önlemek için Denklem 25'te verilen eşitsizliklerle sınırlandırılmıştır (Heshmati, vd. 2020: 114; Asadi, vd. 2018: 8).

$$\lambda = KL/r \leq 4 \sqrt{E/F_y^*} \quad (24)$$

$$D/t < 0.038 E/F_y^* \quad (25)$$

Tüm modeller için yerçekimi ölü ve hareketli yükleri sırasıyla 4 ve 2.4 KN/m² (çatı için 1.5 KN/m²) olarak kabul edilmiştir (Asadi, vd. 2018: 8; Kim ve Lee, 2012: 737). Katlar, 15 cm kalınlığında döşeme ile desteklenmiş ve kat seviyelerindeki tüm düğümler rijit diyafram komutu kullanılarak kısıtlanmıştır. Modellerin tasarımında sismik analiz metodu olarak modal tepki spektrum analizi uygulanmıştır. Sismik tasarım kuvvetleri Çizelge 2'de verilen parametreler ve katsayılar alınarak American Society of Civil Engineers Standard'a (2017a) göre belirlenmiştir. Tasarım rüzgar yükü ise 44.7 m/s temel rüzgar hızı ve B maruz kalma kategorisine dayalı olarak belirlenir.

Yapısal modelin maksimum görelî kat ötelenmesi ASCES (2017a: 109) tasarım sürecinde belirtildiği gibi 0.020h_{sx} (izin verilebilir kat ötelenmesi) sınır değeri alınarak kontrol edilmiştir. Diagrid yapılar için özel tasarım kriterleri olmadığından seçilen tamamlayıcı sistemin ASCES (2017a: 89) gereksinimlerinde yer alan sismik tasarım kategorilerine göre yapısal yükseklik sınırlandırılması dikkate alınmamıştır.

Seyedkazemi ve Qolian Seraji (2019: 1185) iç ve dış diagridlerdeki diyagonal bağlantılarını mafsallı olarak dikkate alırken, yapılan çalışmadaki diyagonal

bağlantılarının moment dayanımlı olduğu varsayılmıştır (Asadi ve Adeli, 2018a: 7; Asadi, vd. 2018: 11). Milana vd. (2015: 384) temelleri açıkça modellemeden zemin ve yapı arasında mafsalı bağlantılar tanımlamaktadır. Yapılan çalışmada ise Asadi ve Adeli'nin (2018a: 7) çalışmasına benzer şekilde diyagonallerin temele olan bağlantıları ankastre kabul edilir. Ayrıca iç yer çekimi çerçevesinde bulunan merkezi kolonlarının yanal yük taşıma kapasitesine katkısını engellemek için temele olan bağlantılarının mafsalı olduğu varsayılmaktadır (Asadi ve Adeli, 2018a: 7).

Çizelge 2 Tasarım Sismik Kuvvet Parametreleri

Sismik Katsayı / Parametre	Değer / Sınıf / Kategori
S_s	1,60 g
S_1	0,43 g
S_{DS}	1,07 g
S_{D1}	0,54 g
Sismik Dizayn Kategorisi	D
Zemin Sınıfı	D
Risk Kategorisi	II
Sismik Önem Faktörü (I_E)	1

Geleneksel diagrid yapılarının iç çerçeveleri sadece ölü ve hareketli yükleri taşımak için tasarlandığından mafsalı bağlantılar dikkate alınmıştır (Heshmati, vd. 2020: 114; Kim ve Lee, 2012: 737; Seyedkazemi ve Qolian Seraji, 2019: 1185). Ayrıca iç çerçevelerde bulunan kolonların yanal yük taşımaması için çevre diagrid çerçevelerine mafsalı kirişler ile bağlandığı kabul edilir. Böylece yer çekimi yükünün bir kısmı çevre diagridlerine aktarılmış olur (Sadeghi ve Rofooei, 2020: 4). Literatürde taranan çalışmaların büyük çoğunluğunda diagrid yapılarıdaki iç yer çekimi ve çevre diagrid çerçeve sistemlerinin hangi yükleri taşımak için tasarlandığı belirtilmektedir (Kim ve Lee, 2012: 737; Asadi ve Adeli, 2018a: 7; Sadeghi ve Rofooei, 2020: 4; Heshmati, vd. 2020: 114; Seyedkazemi ve Qolian Seraji, 2019: 1185). Ancak diagrid sistem elemanlarının bağlantılarına açıkça değinilmemiştir.

Diagrid yapılarıdaki diyagonaller boru profiller; iç çerçevelerde bulunan kolonlar kutu profiller; çevre kirişleri ve yer çekimi kirişleri ise I şeklindeki profillerden seçilmiştir. Modelleme de kullanılan çelik materyali diyagonaller, kolonlar ve iç çerçeve kirişlerinde Grade 50 (ASTM A709, minimum akma gerilmesi 344,7 MPa) alınarak seçilmiştir. Çevre ve kat kirişlerinde ise çelik materyali Grade

36 (ASTM A992, minimum akma gerilmesi 248,2 MPa) alınmıştır. Ayrıca, çift katmanlı diagrid modellerinde modüllerin ikinci katlarındaki iç ve dış çerçevelerin köşeleri arasında yer alan çapraz kat kirişlerinin çelik materyali Grade 50 olarak alınmıştır. Diyagonal kesitler ve kolonlar boyutlandırılırken geleneksel grupta uygulamasına benzer şekilde her dört katta (modül) bir kesit boyutları değiştirilmiştir (Asadi, vd. 2018: 8). Diagrid modellerin tasarımında seçilen kesit boyutları santimetre cinsinden Çizelge 3’te verilmektedir.

Çizelge 3 Diagrid Modellerin Kesit Boyutları

Modül	KPG		DPG		E3,97-KPG	
	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^b	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^b	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^b
1	60 x 4,0	100 x 12,0	65 x 3,5	100 x 11,0	85 x 5,5	100 x 12,0
2	60 x 3,5	100 x 9,0	55 x 3,5	100 x 9,0	80 x 4,5	100 x 9,0
3	55 x 3,5	90 x 8,0	50 x 3,5	90 x 8,0	75 x 4,0	90 x 8,0
4	55 x 3,0	80 x 7,0	50 x 3,0	80 x 7,0	70 x 4,0	80 x 7,0
5	50 x 3,0	65 x 6,0	45 x 3,0	65 x 6,0	60 x 4,0	70 x 6,0
6	45 x 3,0	50 x 4,5	40 x 3,0	50 x 4,5	55 x 3,5	55 x 4,5
7	45 x 2,5		35 x 2,5		50 x 3,0	
8	35 x 2,5		30 x 2,5		40 x 3,0	
9	35 x 2,0		25 x 2,0		35 x 2,5	
Modül	E7,91-KPG		E3,97-KPÇK		E7,91-KPÇK	
	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^b	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^a	Dış Çerçeve ^a	İç Çerçeve ^a
1	95 x 7,5	100 x 12,0	80 X 5,0	95 X 6,5	95 X 6,5	95 X 8,0
2	85 x 6,5	100 x 9,5	75 X 4,5	85 X 5,5	90 X 5,5	85 X 6,0
3	80 x 5,5	90 x 8,5	70 X 4,0	75 X 5,0	75 X 5,5	75 X 5,5
4	70 x 5,0	80 x 7,5	65 X 3,5	70 X 4,5	65 X 5,0	65 X 5,0
5	70 x 4,0	65 x 6,5	55 X 3,5	65 X 4,0	65 X 4,0	65 X 4,0
6	60 x 4,0	55 x 5,0	55 X 3,0	55 X 3,5	60 X 3,5	55 X 3,5
7	55 x 3,5		45 X 3,0	50 X 3,0	50 X 3,5	50 X 3,0
8	50 x 3,0		40 X 2,5	40 X 3,0	45 X 3,0	40 X 3,0
9	40 x 2,5		30 X 2,5	35 X 2,5	35 X 2,5	35 X 2,5

a: Diagrid Çerçeve - Boru Kesitler (Dxt), b: İç Yerçekimi Çerçeve- Kutu Kesitler (Bxt),

IV. MODELLERİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

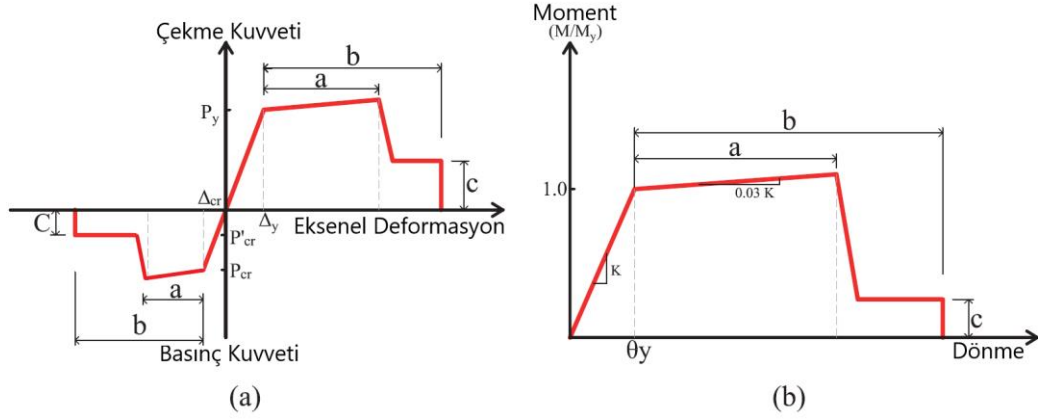
A. Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Modellemesi

Yapısal elemanlar genellikle elastik analize göre tasarlanmasına karşın deprem sırasında doğrusal ve elastik olmayan davranış oluşabilir (Asadi ve Adeli, 2018a: 10). Diagrid yapıların performansı değerlendirilirken dinamik yükler altında yapılan analizlerdeki davranışı ve doğrusal olmayan tepkisi araştırılmalıdır (Scaramozzino, 2020: 23). Bu nedenle tüm üç boyutlu diagrid bina modellerinin doğrusal olmayan davranışını araştırmak için statik (itme) ve dinamik (zaman tanım alanı) analizler yapılmıştır.

Deprem hareketinin oluşturduğu enerjinin emilmesi ve dağıtılmasındaki diagrid yapı diyagonallerin rolü düşünüldüğünde; diyagonal elemanların doğrusal olmayan modellemesi oldukça önemlidir (Heshmati, vd. 2020: 114). Kolonlar ve diyagonallerin doğrusal olmayan davranışı ise sırasıyla eksenel kuvvet-eğilme momenti kombinasyonu ve eksenel yük taşıdığı dikkate alınarak modellenmiştir. Eğilme momentinin büyük bir kısmı kirişler tarafından taşıdığından doğrusal olmayan davranışını modellemek için Asadi ve Adeli, (2018a: 10) Heshmati vd. (2020: 116) ve Kim ve Lee'nin (2012: 737-738) çalışmalarına benzer şekilde sadece eğilme davranışı dikkate alınmıştır. Yukarıda belirtilen davranışa uygun olarak yapısal elemanlarda tanımlanan plastik mafsalların; kolon ve kirişlerin uçlarında, diyagonallerin ortasında oluşacağı öngörülür (Asadi ve Adeli, 2018a: 10).

Eksenel davranışa sahip diyagonaller ve eğilme davranışına sahip kirişlerin sırasıyla kuvvet-deformasyon ve elastik olmayan moment-dönme ilişkileri Şekil 25'te verilmektedir (Mohsenian, vd. 2020: 4; Seyedkazemi ve Qolian Seraji, 2019: 1187). Literatürde, diyagonallerin doğrusal olmayan analizinde FEMA (2000) ve ASCES'e (2014, 2017b) dayalı modelleme parametreleri ile plastik kabul kriterlerinin kullanımı görülmektedir (Asadi ve Adeli, 2018a: 11; Asadi, vd. 2018: 9-10; Kim ve Lee, 2012: 737; Heshmati, vd. 2020: 116; Mohsenian, vd. 2020: 4).

Yapılan çalışmada doğrusal olmayan davranışı tanımlayan kuvvet-deformasyon ilişkisinde yer alan a, b ve c modelleme parametreleri Seyedkazemi ve Qolian Seraji (2019: 1186) çalışmasına benzer şekilde ASCES'e (2014: 155-156) göre seçilmiştir. Ayrıca hemen kullanım (IO), can güvenliği (LS) ve göçme önleme (CP) olarak tanımlanan üç performans seviyesindeki kabul kriterleri de ASCES'e (2014: 155-156) dayalı olarak belirlenmiştir.



Şekil 25 a) Eksenel Davranışa Sahip Elemanların Kuvvet-Deformasyon, b) Eğilme Davranışına Sahip Elemanların Moment-Dönme İlişkisi

B. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Doğrusal olmayan statik itme analizleri, modellerin ilk iki temel ötelenme mod şekline orantılı yanal yük modeli dikkate alınarak Sap2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Ele alınan modeller, Denklem 26'da verilen yer çekimi yük kombinasyonu efor sarf ettikten sonra yukarıda belirtilen yanal yük modeli dikkate alınarak yanal olarak itilmektedir (FEMA, 2009; Asadi ve Adeli, 2018a: 12). Ayrıca doğrusal olmayan analizlerde geometrik doğrusal olmama durumu olarak tanımlanan P- Δ etkileri de dikkate alınmıştır.

$$1,05D^* + 0,25L^* \quad (26)$$

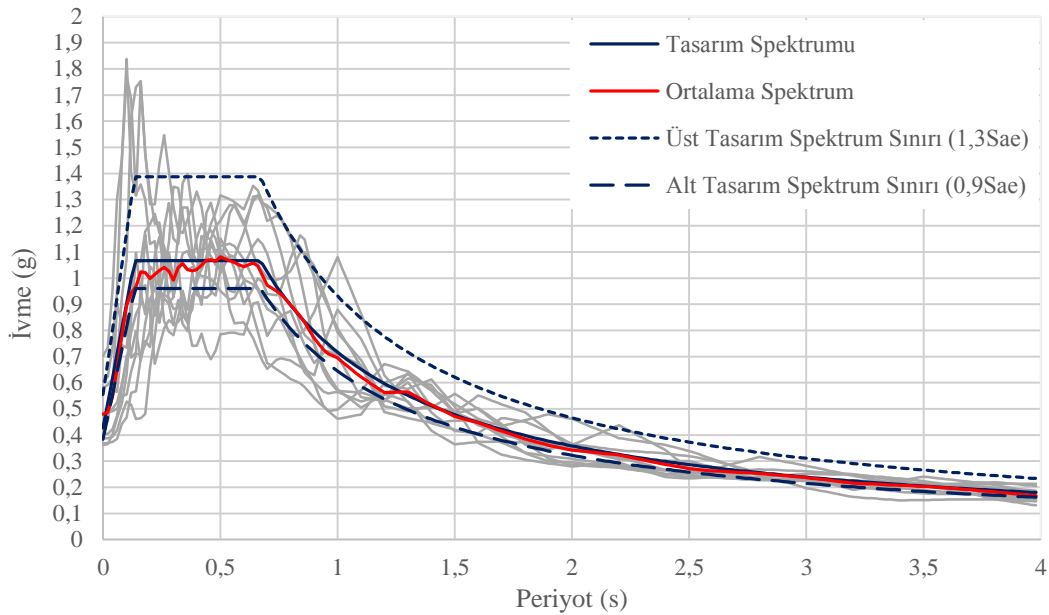
Çizelge 5'te görülebileceği üzere, modellerin ilk ötelenme modlarının bir saniyeden yüksek olması, %75 in altında kütle katılımı görülmesi ve yüksek modların etkilerinin hariç tutulması gibi sebeplerden yapılan statik itme analizleri tek başına yetersiz kalacaktır. Bu nedenle diagrid sistemlerin sismik tepkisinin değerlendirilmesinde daha yüksek modların etkileri zaman tanım alanındaki doğrusal

olmayan analizler kullanılarak yansıtılacaktır (Heshmati, vd. 2020: 116; Mohsenian, vd. 2020: 4).

C. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizi

Doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri, Pacific Earthquake Engineering Center (ngawest2.berkeley.edu) veri tabanından alınan yaklaşık 6,5 ve 7,3 arasındaki büyüklüklere sahip 11 çift yer hareketi kaydının (her iki yatay doğrultudaki ivme kaydı) analiz modellerine uygulanmasıyla Sap2000 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tüm deprem kayıtları, ASCES'e (2017a) göre belirlenen tasarım spektrumuyla ölçeklendikten sonra zaman tanım alanı analizlerinde kullanılmaktadır. Deprem kayıtlarının ölçeklenmesinde, zaman tanım alanında ölçekleme metodu kullanılmaktadır.

PEER (ngawest2.berkeley.edu) veri tabanından 6,5 ve 7,6 arasındaki büyüklüklere sahip yer hareketlerinden Seismoselect programı kullanılarak seçilen kayıtların özellikleri ve ölçekleme katsayıları Çizelge 4'te verilmektedir. Ölçeklenmemiş deprem kayıtlarına ait yatay bileşke spektrumları, ortalama ve tasarım spektrumuyla birlikte Şekil 26'da verilmektedir. Tüm zaman tanım alanı analizlerinde zaman aralığı 0,1 s olarak ayarlanmış ve sayısal integrasyon için Newmark metodu kullanılmıştır.



Şekil 26 Ölçeklenmemiş Deprem Kayıtlarına Ait Yatay Bileşke Spektrumları, Tasarım Spektrumu ve Ölçeklenmiş Yatay Bileşke Spektrumlarının Ortalama Zarfı

Çizelge 4 Deprem Kayıtlarının Özellikleri

No Deprem-Yıl	M_w^a	Kaydedilen İstasyon	Fay Tipi	PGA_{max} (g) ^b	PGV_{max} (cm/s) ^b	Ölçek Kat.
1	Supersition Hills 02-1987	6,54 El Centro Imp. Co.	Doğrultu Atımlı	0,261	43,67	1,71
2	Northridge 01-1994	6,69 Playa Del Rey-Saran	Ters	0,103	15,40	3,92
3	İmperial Valley 06-1979	6,53 El Centro Array #8	Doğrultu Atımlı	0,527	52,41	1,33
4	İmperial Valley 06-1979	6,53 El Centro Differ. Array	Doğrultu Atımlı	0,437	57,84	1,32
5	Hector Mine-1999	7,13 Mecca-CVWD Yard	Doğrultu Atımlı	0,904	17,71	3,93
6	Landers-1992	7,28 Thousand Palms Post	Doğrultu Atımlı	0,105	15,64	3,47
7	Loma Prieta-1989	6,93 Hollister Differ.Array	Ters Verev	0,281	43,12	1,74
8	Taiwan SMART1 (45)-1986	7,30 SMART1 O01	Ters	0,159	22,36	2,43
9	Loma Prieta-1989	6,93 Palo Alto-SLAC Lab	Ters Verev	0,235	35,02	2,05
10	Loma Prieta-1989	6,93 LGPC	Ters Verev	0,590	83,53	0,75
11	Supersition Hills 02-1987	6,54 Brawley Airport	Doğrultu Atımlı	0,126	12,82	4,80

a: Moment büyüklüğü, b: İki dikey doğrultudaki kayıttan.

V. ANALİZ BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Seçilen altı modelin yapısal tasarımının ardından, Sap 2000 yazılımı kullanılarak doğrusal olmayan statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz bulguları ve modal özellikler bu bölümde yer alan başlıklar altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

A. Modal Özellikler

Modal özelliklerden olan mod şekilleri ve doğal frekanslar, yapının genel rijitliği ve sismik davranışı ile ilgili önemli bilgiler sunar. Çizelge 5'te altı modelin ötelenme ve burulma modlarına ait doğal titreşim periyotları verilmektedir. Ayrıca 1. modlara ait modal kütle katılım oranı ve tasarım taban kesme değerleri de aynı tabloda verilmektedir. Altı model de görülen ilk beş mod şekli benzerdir. İlk ikisinde ötelenme modları gözlenirken, üçüncüsü burulma modudur. Ardından gelen son iki modda ise modellerin, ikinci derece ötelenme mod şekli sergilediği görülmektedir. Bu durumun gözlenmesinde genel model geometrisinin benzer olmasının katkısı büyüktür.

Çizelge 5 Diagrid Modellere Ait Modal Özellikler

Model	Ötelenme Modları (s)				Burulma Modları (s)		Vd (kN)* (Tasarım Taban Kesme)
	1.*	M (%)* (1. Modlar)	2.*	3.*	1.	2.	
KPG	3,25	66,24	1,02	0,56	1,30	0,50	27169,95
DPG	3,51	64,52	1,08	0,59	1,22	0,48	21650,96
E3,97-KPG	2,56	63,68	0,83	0,46	1,04	0,42	35618,03
E7,91-KPG	2,24	61,08	0,74	0,42	0,92	0,38	41971,55
E3,97-KPÇK	2,59	61,61	0,82	0,45	1,07	0,41	34790,07
E7,91-KPÇK	2,24	59,69	0,73	0,42	0,94	0,40	41413,23

*: İki yatay doğrultuda elde edilen sonuçların ortalaması

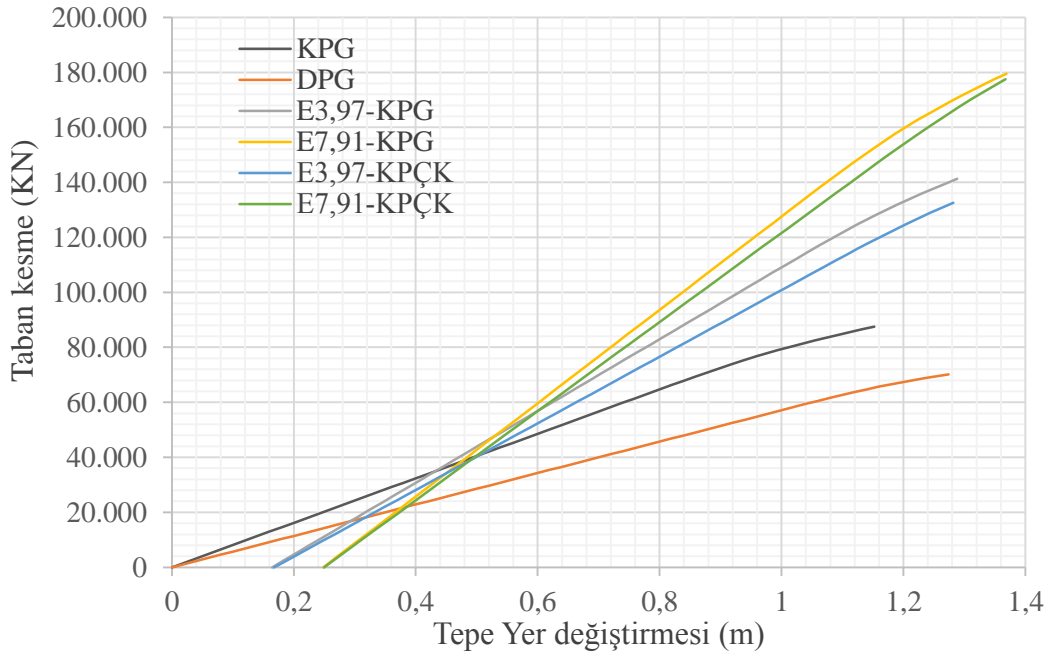
Diagrid yapıların, bir eğilme açısı ile modellenmesi veya bu açı değerinin arttırılmasıyla titreşim periyotlarında ve modal kütle katılım oranlarında bir azalma; tasarım taban kesmesi değerlerinde ise bir artış gözlenmektedir. Ayrıca dairesel plan şeklinin seçimiyle, ötelenme modlarındaki titreşim periyotları artarken; modal kütle katılım oranı ve tasarım taban kesme değeri azalmaktadır.

B. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Bulguları

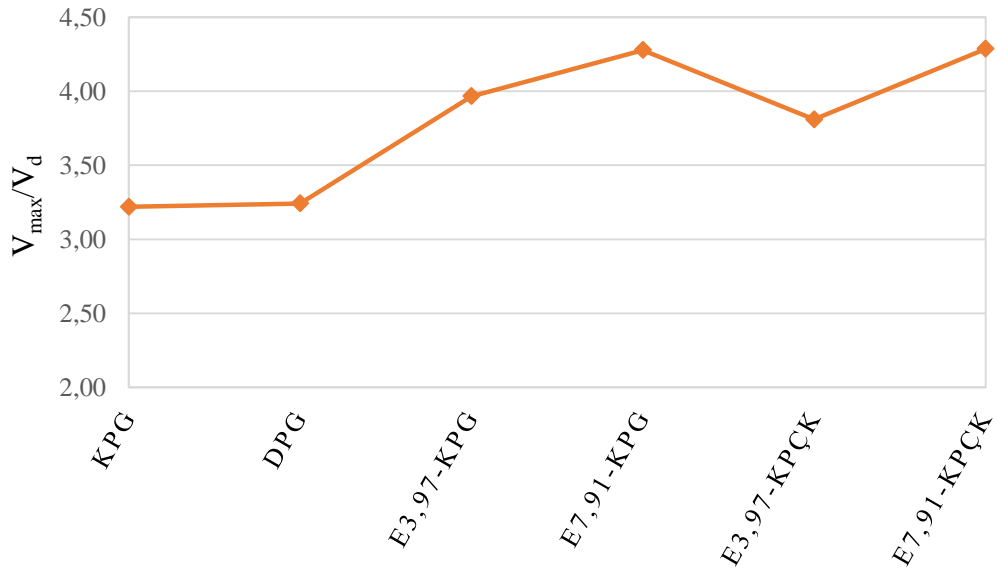
Altı diagrid bina modeli üzerinde yapılan statik itme analizlerinden elde edilen itme eğrileri Şekil 27’de verilmektedir. Statik itme analizlerinde, çözümün yakınsamamasından dolayı bazı analizler kesintiye uğramaktadır. Yakınsama toleransında yapılan değişiklikler elde edilen eğrilerde küçük değişimlere sebep olmaktadır. Toleransın arttırılması elde edilen sonuçların doğruluğunu etkileyeceğinden tanımlı tolerans değerleri ile bulunan statik itme eğrileri dikkate alınmıştır. Plastik mafsallar, KPG diagrid modelinde alt köşe diyagonallerinde dağılırken, DPG diagrid modelinde ise ilk 4 modül yüksekliği boyunca toplu şekilde dağıldığı gözlenmektedir.

Tasarım taban kesme açısından diagrid modellerinin normalleştirilmiş maksimum taban kesme oranları Şekil 28’de verilmektedir. Dairesel plan şeklinin seçimiyle maksimum taban kesme oranında ufak bir artış görülmesine rağmen, KPG diagrid modelinde görülen değere oldukça yakındır.

Diagrid modellerinin belirli bir eğilme açısıyla tasarlanması veya bu açının arttırılmasıyla maksimum taban kesme oranları artmaktadır. Bu durum, belirtilen değişimlerin yanal yük direnç kapasitesini arttırdığını göstermektedir. Çift katmanlı diagrid modellerde plastik mafsalların dağılımı geleneksel modellere kıyasla yapının alt kısmının daha üst modüllerine kaymaktadır.



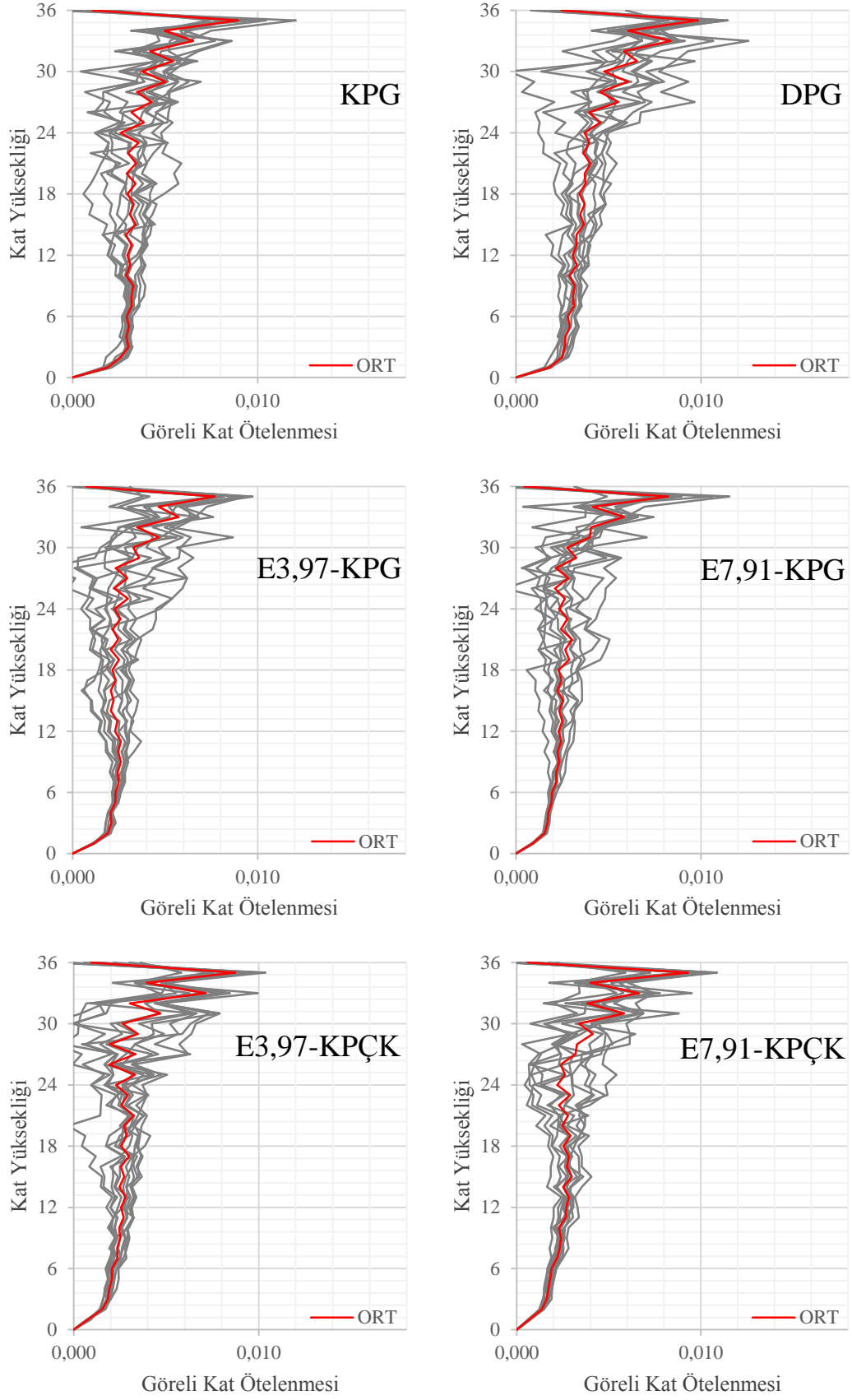
Şekil 27 Diagrid Modellerin Statik İtme Eğrileri



Şekil 28 Diagrid Modellerin Maksimum Taban Kesme Oranları

C. Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizi Bulguları

Maksimum tepe yer değiştirmesi ve görel kat ötelenmeleri yapıların değerlendirilmesinde kullanılan önemli kriterlerdir. Ele alınan altı model için ortalama ötelenme zarfı ile birlikte doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde maksimum ötelenmelerin görüldüğü görel kat ötelenme zarfları Şekil 29'da verilmektedir.



Şekil 29 Doğrusal Olmayan Zaman Tanım Alanı Analizlerinden Elde Edilen Maksimum Görel Kat Ötelenme Zarfları

Grafikler incelendiğinde, genel olarak deformasyonların tüm modellerin yapı yüksekliği boyunca iyi bir dağılım gösterdiği görülmektedir. ASCES'e (2017a: 165) göre doğrusal olmayan tepki analizlerinde ortalama kat ötelenmesi oranı Tablo 12.12-1'de belirtilen sınırların iki katını (%4) aşmamalıdır. Tüm modellerin analizlerinden elde edilen görelî kat ötelenmeleri izin verilen maksimum ötelenmenin oldukça altındadır. Deformasyonlar genellikle yapı yüksekliğinin üst bölgelerinde daha düzensiz olduğundan; görelî kat ötelenmeleri, modellerin üst iki modülünde daha yüksek değerler almaktadır.

Modellenen binalar üzerinde gerçekleştirilen doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizlerinde elde edilen maksimum tepe yer değıştirmesi ve görelî kat ötelenmesi değerleri sırasıyla Çizelge 6 ve 7'de verilmektedir. Dairesel plan şeklinin seçimiyle maksimum tepe yer değıştirmesi ve ortalama ötelenme zarfındaki maksimum görelî kat ötelenmesi değeri KPG diagrid modeline göre artmaktadır. Ayrıca DPG diagrid modelindeki deformasyonların daha düzensiz dağıldığı gözlenmektedir. Ancak, Çizelge 3'teki diyagonal kesit boyutları ve statik itme analizlerinin sonuçları dikkate alındığında; DPG diagrid modelinin KPG modele kıyasla yanal kuvvetlere karşı daha verimli dayanım gösterdiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 6 ve 7'de görülebileceği gibi, eğilme açısının artışıyla diagrid bina modellerinde maksimum tepe yer değıştirmesi ve görelî kat ötelenmesinin artmasının yapının genel yanal rijitliğinde bir artışa işaret ettiği söylenebilir. Bu durum önceki bölümlerde elde edilen sonuçlar ile tutarlıdır.

Çizelge 6 Maksimum Tepe Yer Değıştirmesi

Model	Maksimum* Tepe Yer Değıştirmesi	Görüldüğü Deprem Kaydının Özellikleri
KPG	214,519	İmperial Valley 06-1979 / El Centro Differential Array
DPG	272,189	İmperial Valley 06-1979 / El Centro Array #8
E3,97-KPG	198,552	İmperial Valley 06-1979 / El Centro Array #8
E7,91-KPG	224,734	Loma Prieta-1989 / Palo Alto-SLAC Lab
E3,97-KPÇK	170,737	Loma Prieta-1989 / Palo Alto-SLAC Lab
E7,91-KPÇK	194,837	Loma Prieta-1989 / Palo Alto-SLAC Lab

* : Maksimum tepe yer değıştirmesi mm cinsinde verilmiştir.

Çizelge 7 Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi

Model	Maksimum Görelî Kat Ötelenmesi	Görüldüğü Deprem Kaydının Özellikleri	Ortalama Kat Ötelenmesi Zarfındaki Mak. Değer
KPG	0,0121	Landers-1992 / Thousand Palms Post Office	0,0089
DPG	0,0126	İmperial Valley 06-1979 / El Centro Array #8	0,0098
E3,97-KPG	0,0097	Loma Prieta-1989 / Hollister Differential Array	0,0077
E7,91-KPG	0,0115	Loma Prieta-1989 / LGPC	0,0082
E3,97-KPÇK	0,0104	İmperial Valley 06-1979 / El Centro Dif. Array	0,0087
E7,91-KPÇK	0,0109	Loma Prieta-1989 / Palo Alto-SLAC Lab	0,0093

VI. SONUÇLAR

Doğrusal olmayan statik itme ve zaman tanım alanı analizlerinin sonuçları plan şekli, eğimli yapı formları ve yapısal çekirdek sistemi seçiminin diagrid yapıların sismik performansını etkilediğini doğrulamaktadır. Kare ve dairesel planlı geleneksel diagrid modellerinin her ikisinde de kabul edilebilir performans gözlemlendiğinden, malzeme kullanımı açısından dairesel plan şeklinin seçimi daha uygundur. Bu durum DPG diagrid bina modelinin KPG modele kıyasla daha düşük kesme gecikme etkisine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Varsayılan sismik performans faktörleri ile tamamlayıcı tasarım kodunun taleplerini karşılayacak şekilde tasarlanan diagrid bina modellerinin doğrusal olmayan analizlerde kabul edilebilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Buradan, kullanılan tasarım varsayımlarının çeşitli plan şekillerine veya eğimli formlara sahip yüksek katlı diagrid binaların tasarımına uygun olduğu söylenebilir. Ancak, yapılan çalışmanın diğer plan şekilleri, kat yükseklikleri ve diyagonal açı kombinasyonları dikkate alınarak genişletilmesiyle daha kesin yargılar sunulabilir.

Genel olarak, iç diagrid çekirdek kullanımıyla yapının sismik davranışında büyük bir değişim görülmemektedir. Ancak, eğimli diagrid bina modellerinde iç diagrid çekirdek kullanılarak yapılan tasarım dış diyagonal kesit boyutlarını azaltarak, malzeme kullanımı açısından avantaj sağlar. Buradan çift katmanlı diagrid bina modellerinin geleneksel olanlara kıyasla rijitlik ve dayanım taleplerinin karşılanması açısından daha verimli oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca, tasarım aşamasındaki yapısal elemanların boyutlandırılması kısmında yanal rijitlik direncinin iç ve dış diagrid çerçeve arasında kaydırılabileceği görülmüştür. Bu durum, iç diagrid çekirdeğin yanal yük direncine katkı sağlayarak verimliliği arttırabileceğini doğrulamaktadır.

Statik itme analizlerinde plastik mafsalların diagrid bina modellerinin diyagonallerinde oluştuğu gözlenmektedir. Bu durum yanal yük direncinde diagrid yapısal sistemlerin etkinliğini doğrulamaktadır.

Diagrid binalar, yanal yüklere karşı oldukça dirençli yapı sistemlerine sahip olmalarına rağmen, sünekliğin iyileştirilmesi gerekmektedir. Burkulma dirençli destekler gibi çeşitli öneriler bulunsa da daha ekonomik çözümler üzerinde çalışılmalıdır. Bu konunun gelecek çalışmada ele alınması planlanmaktadır.

Mevcut bina tasarım kodları, diagrid yapısal sistemler ile ilgili açık yönerge ve hükümler sağlamamaktadır. Yapılan çalışmanın diğer amaçları, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine diagrid binalar ile ilgili sismik değerlendirme, yönerge ve hükümlerin dahil edilmesinin gereğine dikkat çekmek ve bir başlangıç çalışması sunmaktır.

VII. KAYNAKÇA

KİTAPLAR

BOAKE, T. M. (2014). **Diagrid Structures: Systems, Connections, Details**, Switzerland, Birkhäuser.

NEWMARK, N. M. ve HALL, W.J. (1982). **Earthquake Spectra and Design**, California, Earthquake Engineering Research Institute.

VOLLERS, K. J. (2008). Morphological Scheme of Second Generation Non-Orthogonal High-Rises, A. WOOD (Ed.), **Tall & Green: Typology for a Sustainable Arban Future (The Proceedings of the CTBUH 8th World Congress)** içinde (s.504-512), Dubai, Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

MAKALELER

ALI, M. M. ve MOON, K. S. (2007). “Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects”, **Architectural Science Review**, cilt 50, sayı 3, ss.205-223.

ANGELUCCI, G. ve MOLLAIOLI, F. (2017). “Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Changing Pattern Configuration Through Topological Assessments”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 26, sayı 18, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tal.1396>, (Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021).

ASADI, E. ve ADELI, H. (2018a). “Nonlinear Behavior and Design of Mid-to High-Rise Diagrid Structures in Seismic Regions”, **Engineering Journal**, American Institute of Steel Construction, sayı 55, ss.161-180.

ASADI, E. ve ADELI, H. (2018b). “Seismic Performance Factors for Low- to Mid-Rise Steel Diagrid Structural Systems”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 27, sayı 15,

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tal.1505>, (Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021).

ASADI, E., LI, Y. VE HEO, Y. (2018). "Seismic Performance Assessment and Loss Estimation of Steel Diagrid Structures", **Journal of Structural Engineering**, cilt 144, sayı 10, <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0002164>, (Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021).

CARPINTERI, A. ve CARPINTERI, AN. (1985). "Lateral Loading Distribution Between the Elements of a Three-Dimensional Civil Structure", **Computers & Structures**, cilt 21, sayı 3, ss.563-580.

ÇELEBİ, Ç. (2019). "Computing Diagrid Structural Systems in Free-Form High-Rise Designs", **JCoDe: Journal of Computational Design**, cilt 1, sayı 1, ss.87-109.

HESHMATI, M., KHATAMI, A. ve SHAKIB, H. (2020). "Seismic Performance Assessment of Tubular Diagrid Structures with Varying Angles in Tall Steel Buildings", **Structures**, sayı 25, ss.113-126.

KIM, J. ve JUNG, M. K. (2013). "Progressive Collapse Resisting Capacity of Tilted Building Structures", **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 22, sayı 18, ss.1359-1375.

KIM, J. ve KONG, J. (2013). "Progressive Collapse Behavior of Rotor-Type Diagrid Buildings", **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 22, sayı 16, ss.1199-1214.

KIM, J. ve LEE, Y. H. (2012). "Seismic Performance Evaluation of Diagrid System Buildings", **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 21, sayı 10, ss.736-749.

KORSAVI, S. ve MAQHAREH, M.R. (2014). "The Evolutionary Process of Diagrid Structure Towards Architectural, Structural and Sustainability Concepts: Reviewing Case Studies", **Journal of Architectural Engineering Technology**, cilt 3, sayı 2, <https://www.omicsonline.org/open-access/the-evolutionary-process-of-diagrid-structure-towards-architectural-structural-and-sustainability-concepts-reviewing-case-studies-2168-9717.1000121.pdf>, (Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021).

- KWON, K. ve KIM, J. (2014). “Progressive Collapse and Seismic Performance of Twisted Diagrid Buildings”, **International Journal of High-Rise Buildings**, cilt 3, sayı 3, ss.223-230.
- LACIDOGNA, G., SCARAMOZZINO, D. ve CARPINTERI, A. (2019). “A Matrix-Based Method for the Structural Analysis of Diagrid Systems”, **Engineering Structures**, sayı 193, ss.340-352.
- LIU, C. ve MA, K. Q. (2016). “Calculation Model of the Lateral Stiffness of High-rise Diagrid Tube Structures Based on the Modular Method”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 26, sayı 4, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tal.1333>, (Erişim: 3 Temmuz 2021).
- MELE, E., IMBIMBO, M. ve TOMEI, V. (2019). “The Effect of Slenderness on the Design of Diagrid Structures”, **International Journal of High-Rise Buildings**, cilt 8, sayı 2, ss.83-94.
- MELE, E., TORENO, M., BRANDONISIO, G. ve LUCA, A. D. (2014). “Diagrid Structures for Tall Buildings: Case Studies and Design Considerations”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 23, sayı 2, ss.124-145.
- MILANA, G., OLMATI, P., GKOUHAS, K. ve BONTEMPI, F. (2015). “Ultimate Capacity of Diagrid Systems for Tall Buildings in Nominal Configuration and Damaged State”, **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, cilt 59, sayı 3, ss.381-391.
- MIRANDA, E. ve BERTERO, V.V. (1994). “Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design”, **Earthquake Spectra**, cilt 10, sayı 2, ss.357-379.
- MOHSENIAN, V., PADASHPOUR, S. ve HAJIRASOULIHA, I. (2020). “Seismic Reliability Analysis and Estimation of Multilevel Response Modification Factor for Steel Diagrid Structural Systems”, **Journal of Building Engineering**, cilt 29, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710219313208>, (Erişim Tarihi: 29 Mayıs 2021).

- MONTUORI, G. M., MELE, E., BRANDONISIO, G. ve LUCA, A. D. (2013). “Design Criteria for Diagrid Tall Buildings: Stiffness Versus Strength”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 23, sayı 17, ss.1294-1314.
- MONTUORI, G. M., MELE, E., BRANDONISIO, G. ve LUCA, A. D. (2014). “Geometrical Patterns for Diagrid Buildings: Exploring Alternative Design Strategies from the Structural Point of View”, **Engineering Structures**, sayı 71, ss.112-127.
- MOON, K. S., CONNOR, J. J. ve FERNANDEZ, J. E. (2007). “Diagrid Structural Systems for Tall Buildings: Characteristics and Methodology for Preliminary Design”, **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 16, sayı 2, ss.205-230.
- MOON, K. S. (2011). “Diagrid Structures for Complex-Shaped Tall Buildings”, **Procedia Engineering**, sayı 14, ss.1343-1350.
- MOON, K. S. (2008). “Optimal Grid Geometry of Diagrid Structures for Tall Buildings”, **Architectural Science Review**, cilt 51, sayı 3, ss.239-251.
- SADEGHI, S. ve ROFOOEI, F. R. (2020). “Improving the Seismic Performance of Diagrid Structures Using Buckling Restrained Braces”, **Journal of Constructional Steel Research**, cilt 166, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X19308934>, (Erişim Tarihi: 29 Mayıs 2021).
- SADEGHI, S. ve ROFOOEI, F. R. (2018). “Quantification of the Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Structures”, **Journal of Constructional Steel Research**, cilt 146, ss.155-168.
- SCARAMOZZINO, D., LACIDOGNA, G. ve CARPINTERI, A. (2020). “New Trends Towards Enhanced Structural Efficiency and Aesthetic Potential in Tall Buildings: The Case of Diagrids”, **Applied Sciences**, cilt 10, sayı 11, <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/3917>, (Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021).

SEYEDKAZEMI, A. ve QOLIAN SERAJI, R. (2019). "Evaluation of Seismic Performance of Double-layer Steel Diagrid Systems", **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, cilt 63, sayı 4, ss.1183-1192.

VIDIC, T., FAJFAR, P. ve FISCHINGER, M. (1994). "Consistent Inelastic Design Spectra: Strength and Displacement", **Earthquake Engineering & Structural Dynamics**, cilt 23, sayı 5, ss.507-521.

ZHANG, C., ZHAO, F. ve LIU, Y. (2012). "Diagrid Tube Structures Composed of Straight Diagonals with Gradually Varying Angles", **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, cilt 21, sayı 4, ss.283-295.

ELEKTRONİK KAYNAKLAR

PEER. "Ground Motion Database NGA-West2", Pacific Earthquake Engineering Research Center, https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb_flag=1, (Erişim Tarihi: 04.07.2021).

URL-1 "Shukhov Tower", World Monuments Fund, <https://www.wmf.org/project/shukhov-tower>, (Erişim Tarihi: 02.08.2021).

URL-2 "30 St Mary Axe", Foster+Partners, <https://www.fosterandpartners.com/projects/30-st-mary-axe/#gallery>, (Erişim Tarihi: 01.07.2021).

URL-3 "Hearst Headquarters", Foster+Partners, <https://www.fosterandpartners.com/projects/hearst-headquarters/#gallery>, (Erişim Tarihi: 01.07.2021).

URL-4 "CCTV – Headquarters", OMA, <https://www.oma.com/projects/cctv-headquarters>, (Erişim Tarihi: 02.07.2021).

URL-5 "Poly International Plaza", SOM, https://www.som.com/projects/poly_international_plaza, (Erişim Tarihi: 02.07.2021).

URL-6 "The Bow", Foster+Partners, <https://www.fosterandpartners.com/projects/the-bow/>, (Erişim Tarihi: 02.07.2021).

TEZLER

GOLDSMITH, M. (1953). "The Tall Building: The Effects of Scale", (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi), Illinois Institute of Technology.

DİĞER KAYNAKLAR

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. (2011). "Steel Construction Manual, 14th Ed.", Chicago, IL, American Institute of Steel Construction.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (2016a). "Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-16", Chicago, IL, American Institute of Steel Construction.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (2016b). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16", Chicago, IL, American Institute of Steel Construction.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (2010). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-10", Chicago, IL, American Institute of Steel Construction.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS STANDARD. (2017a). "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-16", Reston, VA, American Society of Civil Engineers.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS STANDARD. (2017b). "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17", Reston, VA, American Society of Civil Engineers.

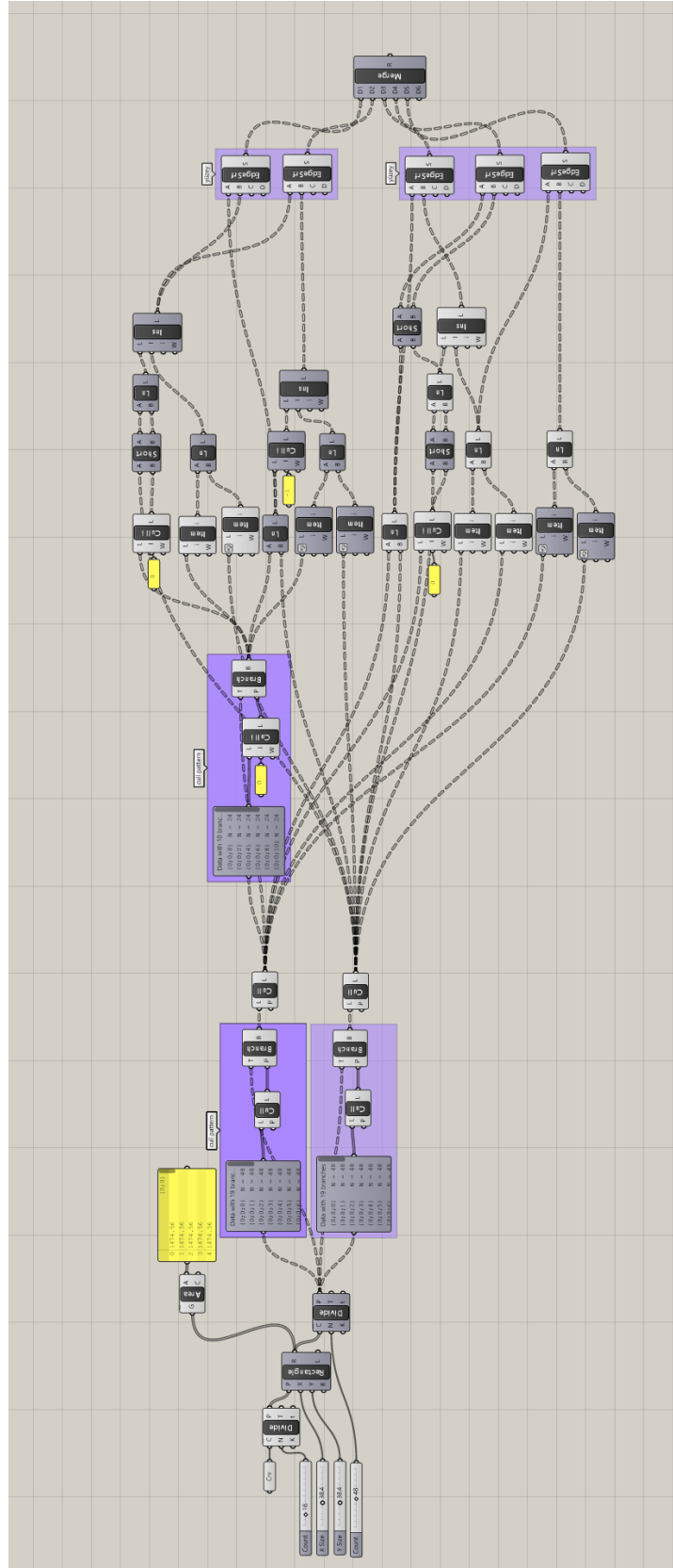
AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS STANDARD. (2014). "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-13", Reston, VA, American Society of Civil Engineers.

BAKER, W., BESJAK, C., SARKISIAN, M., LEE, P. ve DOO, C. S. (2010). "Proposed Methodology to Determine Seismic Performance Factors for Steel Diagrid Framed Systems", CTBUH Technical Paper, Council on Tall Buildings and Urban Habitat.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (2003). "NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA-450", Washington, DC, Federal Emergency Management Agency.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (2000). "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356", Washington, DC, Federal Emergency Management Agency.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (2009). "Quantification of Building Seismic Performance Factors, FEMA P-695", Washington, DC, Federal Emergency Management Agency.



Ek-2 Kare Planlı Modeller İçin Detaylı Algoritmik Akış Planı

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emrah METİN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013-2017, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2019-2021, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programı