

154755

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RİJİT VE YARI RİJİT BODRURLU DÜZLEM ÇERÇEVELERİN
DEPREM YÜKLERİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ
İRDELENMESİ

İnş.müh Taylan ÖNEL

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. İbrahim EKİZ



Prof. Dr. Feridun GÜL Feridun Gul
Yrd. Doç. Dr. Sema Nayan AİAÇALI Sema Nayan

İSTANBUL , 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iii
KISALTIMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem.....	1
2. AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK TE ÖNGÖRÜLEN HESAP YÖNTEMLERİ.....	3
2.1 Kuramsal Bilgiler.....	3
2.2 Mod Birleştirme Yöntemi	5
2.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	10
3. ANALİZLERDE KULLANILAN HESAP ÇERÇEVESİ MODELLERİ	15
3.1 Hesap Yöntemlerinde İzlenen Yol ve Kabuller.....	15
3.1.1 Modal Analiz Yönteminde İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri	16
3.1.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde (EDY) İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri.....	19
3.1.3 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Rijit Bodrumlu Yapılar İçin Öngörülen Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde (TDY) İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri.....	21
3.2 Düzlem Hesap Çerçevesi Modellerinin Tanıtılması	26
3.2.1 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli.....	27
3.2.2 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli.....	28
3.2.3 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli.....	29
4. ANALİZLERDE KULLANILAN DÜZLEM HESAP ÇERÇEVELERİ ANALİZ SONUÇLARI	30
4.1 Mod Birleştirme Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri.....	30
4.2 Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri.....	42
4.3 Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri.....	53
4.4 Tüm Analiz Yöntemlerini İçeren Düzlem Çerçeve Hesap Sonuç Grafikleri.....	64
5. DÜZLEM HESAP ÇERÇEVELERİNİN ANALİTİK DEĞERLENDİRİLMELERİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇ VE ÖNERİLER....	71
KAYNAKLAR	106
ÖZGEÇMİŞ.....	107

SİMGE LİSTESİ

A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T_i)$	Spektral ivme katsayısı
E_c	Malzeme elastisite modülü
$f_{bj}(t)$	J. moda herhangi bir i katına etkiyen kuvvet
F_i	Yapının herhangi bir i. katı seviyesine uygulanacak yatay deprem yükü
H_N	Yapının temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
I	Yapı önem katsayısı
m_i	Herhangi bir i katına ait kütle
$m_{\theta i}$	Herhangi bir i katına ait dönme küresel atalet momenti
M_j	Modal kütle
M_j^*	J. modda etkili modal kütle
N	Kat Adedi
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$S(T_i)$	Spektrum katsayısı
$S_j(T_j)$	Boyutsuz ivme spektrumu
T_A, T_B	Yerel zemin sınıfına bağlı spektrum karakteristik periyotları
T_i	Herhangi bir mod şekline ait periyot değeri
$V_{bj}(t)$	J. moda etkiyen taban kesme kuvveti
V_t	Yapı sistemine ait toplam taban kesme kuvveti
W_i	Herhangi bir i katının ağırlığı
β_{ij}	Serbest titreşim frekansları oranı
ϕ_{ij}	J. moda ait i katındaki yerdeğiştirme
\dot{O}_{xij}	J. modda herhangi bir i. katının x eksenini doğrultusundaki ötelemesi
\dot{O}_{yij}	J. modda herhangi bir i. katının y eksenini doğrultusundaki ötelemesi
$\dot{O}_{\theta ij}$	J. modda herhangi bir i. katının düşey eksen etrafında dönmesi
ρ_{ij}	Çapraz korelasyon katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

EDY	Bodrum katlarının rijitliği zemin üstündeki katlarının rijitliğine oranla çok büyük olmayan yapılar için “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te tanımlanmış Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
I	Hesap çerçevelerinin zemin altı bölgesine ait relatif eğilme rijitliği
MODAL	“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te tanımlanmış Mod Birleştirme Yöntemi
M/m	Normalize edilmiş toplam kat eğilme momenti
Mt	İlgili kat seviyelerindeki toplam kat eğilme momenti değeri
SON	Hesap çerçevelerine ait son kat kolonlarının son kat döşemesinin bir altındaki kat döşemesine bağlandıkları kat seviyesi bölgesi
TABAN	Hesap çerçevelerine ait bodrum kat kolonlarının temele bağlandıkları kat seviyesi bölgesi
T ₁	Yapının birinci doğal titreşim periyodu
TDY	Rijit bodrumlu yapılar için “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te tanımlanmış Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
V _t	İlgili kat seviyelerindeki toplam kat kesme kuvveti değeri
V/m	Normalize edilmiş toplam kat kesme kuvveti
ZEMİN	Hesap çerçevelerine ait zemin kat kolonlarının zemin kat döşemesine bağlandıkları kat seviyesi bölgesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1.1	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te Z4 Yerel Zemin Sınıfı İçin Verilen Tasarım Deprem Spektrumu.....	25
Şekil 3.1	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli.....	27
Şekil 3.2	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli	28
Şekil 3.3	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli	29
Şekil 4.1	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği	36
Şekil 4.2	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği	37
Şekil 4.3	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği	38
Şekil 4.4	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği	39
Şekil 4.5	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği	40
Şekil 4.6	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği	41
Şekil 4.7	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği.....	47
Şekil 4.8	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	48
Şekil 4.9	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	49
Şekil 4.10	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	50
Şekil 4.11	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	51
Şekil 4.12	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	52
Şekil 4.13	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği.....	58
Şekil 4.14	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	59

Şekil 4.15	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiğı.....	60
Şekil 4.16	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	61
Şekil 4.17	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	62
Şekil 4.18	Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği - Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	63
Şekil 4.19	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiğı	65
Şekil 4.20	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiğı	66
Şekil 4.21	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiğı	67
Şekil 4.22	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı	68
Şekil 4.23	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı	69
Şekil 4.24	Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği-Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı	70
Şekil 5.1	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik-Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiğı	82
Şekil 5.2	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiğı.....	83
Şekil 5.3	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiğı.....	84
Şekil 5.4	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	85
Şekil 5.5	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	86
Şekil 5.6	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiğı.....	87
Şekil 5.7	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiğı	88

Şekil 5.8	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	89
Şekil 5.9	3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	90
Şekil 5.10	3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	91
Şekil 5.11	3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	92
Şekil 5.12	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	93
Şekil 5.13	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği.....	94
Şekil 5.14	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	95
Şekil 5.15	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği.....	96
Şekil 5.16	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	97
Şekil 5.17	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	98
Şekil 5.18	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği.....	99
Şekil 5.19	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği	100
Şekil 5.20	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği	101
Şekil 5.21	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği.....	102
Şekil 5.22	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği.....	103
Şekil 5.23	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği	104
Şekil 5.24	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1	3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	33
Çizelge 4.2	3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	34
Çizelge 4.3	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	35
Çizelge 4.4	3Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	44
Çizelge 4.5	3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	45
Çizelge 4.6	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	46
Çizelge 4.7	3Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	55
Çizelge 4.8	3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	56
Çizelge 4.9	Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler	57

ÖNSÖZ

Bu tez, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik'te öngörülen Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemleri Bağlamında rijit ve yarı rijit bodrumlu yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemek amacıyla hazırlanmıştır. Yönetmelik'te verilen deprem hesap yöntemleri hesap kuralları esas alınarak seçilen düzlem çerçeve hesap modellerinin bilgisayar ortamında çözümlenmeleri ile elde edilen verilerin incelenmesi ve değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur.

Yoğun bir çalışma temposu ve çok fazla emek gerektiren bu tezde, öncelikle tez danışmanım olan Prof. İbrahim EKİZ'e çok teşekkür ederim. Çalışmamın her aşamasında her zaman ve her konuda bana yardımcı olan Prof.Dr. Feridun ÇILI, Prof.Dr Kaya ÖZGEN, Dr. Ali KOÇAK, Dr. Bilge DORAN' a ayrıca yaşamımın her anında benden ilgi ve desteklerini esirgemeyen sevgili annem Asuman ÖNEL ve babam Prof. Hakkı ÖNEL' e sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.



ÖZET

Yapıların deprem hesaplarında ; “modların süperpozisyonu yöntemi” uygulanırken genellikle katkılarının daha büyük oldukları düşünülerek, büyük “özel periyotlu” birkaç özel modla yetinilmektedir. Bu durumda, düzenli yapılar için diğer özel modların etkileri çok küçük kalmakla birlikte, rijit bodrumlu yapıların rijit bölümlerindeki atalet kuvvetleri hesaba girmemiş olmaktadır. En büyük periyodu esas alan yönetmelik hükümlerinin öngördüğü yöntemlerde ise; bodrum katların kütleleri hesaba katıldığı zaman bu bölgelere ilişkin atalet kuvvetleri, yapının üst bölümlerine aktarılmış olmakta ve yapının hesap sonuçlarını doğrudan etkilemektedir.

Olası sakıncaları gidermek amacıyla tez çalışmasında ; bu tür sistemler için, rijit ve rijit olmayan yapı bölümlerine ilişkin özel vektörlerin birbirlerinden ayrılmaları ve bazı özelliklerden de yararlanılarak, tam ve yarı rijit durumlar için geliştirilmiş yönetmelik yöntemleri olan, “modların süperpozisyonu ve eşdeğer deprem yükü yöntemleri” ile düzlem çerçeve analizleri yapılarak bu nitelikteki düzlem çerçevelerin deprem etkisi altındaki davranışları irdelenmiştir.

Bu bağlamda ; çalışmanın birinci bölümünde tezin “amaç,kapsam ve yöntemi” açıklanarak, ikinci bölümde “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te öngörülen hesap yöntemlerine ilişkin kuramsal bilgiler, üçüncü bölümde “ Analizlerde Kullanılan Düzlem Hesap Çerçeve Modelleri”nin tanıtılması yapılarak hesap yöntemlerinde izlenen yollar ve kabuller irdelenmiş, dördüncü bölümde “Düzlem Hesap Çerçeveleri”ne ilişkin analizler yapılarak analizlerden elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Çalışmanın beşinci bölümünde, ele alınan düzlem çerçeve hesap modellerinin yönetmelikte öngörülen deprem hesap yöntemleri bağlamında sözkonusu yapıların deprem etkisi altındaki davranışları, dördüncü bölümdeki analitik bulgular ışığında değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Modların süperpozisyonu yöntemi, eşdeğer deprem yükü yönetimi, rijit bodrumlu yapılar, özel mod, bodrum katların kütleleri, yönetmelik, düzlem çerçeveler.

ABSTRACT

In applying the method of modal superposition to the earthquake analysis of multi-storey buildings, it is common practice to use a limited number of natural modes of vibration, since the effects of the modes with higher natural periods are known to be dominant. In the case of structurally regular systems, the effect of higher modes are relatively small and can be neglected. However, in analysis of buildings with rigid basements, it is not possible to take into account the effects of inertia forces at the rigid regions by using only a few number of natural modes. On the other hand, when applying the simpler methods given in earthquake codes, only the mode with largest natural period is considered, hence the inertia forces of rigid regions are transferred to the upper regions of structure.

In this study, in order to eliminate these drawbacks, a method is developed in the earthquake code of Turkey, whereby the vibration modes of rigid and non-rigid regions are separated considering certain characteristics of the two regions. The application of the method to both the modal superposition analysis with a limited number of natural modes and procedures given in earthquake code is explained. Here, the behavior of portal frames with rigid basements under earthquake effect is examined due to modal superposition and equivalence earthquake load methods given in earthquake code of Turkey.

In this respect, Chapter 1 states the objective, content and method of the study. Chapter 2 includes the theoretical information with respect to the analysis methods prescribed in the Earthquake Code of Turkey. Chapter 3 describes the portal frame models used in the analyses and investigates the approach and the assumptions followed. Chapter 4 includes the analyses for the portal frame models and evaluates their results. Finally Chapter 5 evaluates the behavior of the portal frames in question under earthquake effects in the light of the analyses described in chapter 4.

Keywords: Modal superposition method, equivalence earthquake load method, buildings with rigid basements, natural modes of vibration, the inertia forces of rigid regions, earthquake code, portal frame.

1. GİRİŞ

1.1 Amaç, Kapsam ve Yöntem

1997 yılında hazırlanan ve 01.01.1998 yılında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” in 6.6.1 maddesinde, deprem etkisi altındaki bina türünden yapıların taşıyıcı sisteminde boyutlamaya esas olacak kesit etkilerinin bulunmasında farklı seviyelerde olan üç çözümlenme yöntemi verilmiştir. Bu yöntemler bölüm 6.7 de verilen “Eşdeğer Deprem Yüğü” yöntemi, bölüm 6.8 de verilen “Mod Birleştirme Yöntemi” ve bölüm 6.9 da tanımlanan “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri”dir.

Şehirlerde arsa değerinin ve araba sayısının hızla artması sonucunda, binaların bodrum katlarının sayısı da artmaktadır. Zemin kat altında toprak itkisini karşılamak için bina çevresinde yapılan betonarme perdeler bodrum kat rijitliğini çok artırmakta ve bu yüzden statik ve dinamik olmak üzere bazı önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Özellikle perde ve çekirdek türünden yatay taşıyıcı elemanlı sistemlerde, zemin ve bodrum kat döşemeleri ile çevre perdelerin düzlemleri içinde tam rijit kabul edilmeleri halinde, zemin katta daha önemli olmak üzere bodrum kat döşemelerinde ve çevre perdelerinde gerçeğe göre çok büyük olan iç etkilerin meydana geldikleri görülmektedir. Bunun için bu bölgelerin, zemin ve alt taraftaki birkaç bodrum döşemesinde ve çevre perdelerinde düzlemleri içindeki lineer hatta lineer olmayan, özellikle kayma şekil değiştirmeleri göz önünde tutularak yapılan hesap sonuçlarına göre boyutlandırılmaları gerekmektedir (Çakıroğlu,A.,1986).

Rijit bodrumlu yapıların dinamik sorunlarına gelince, deprem hesaplarında modların süperpozisyonu yöntemi uygulanırken, genellikle daha etkili olan büyük periyotlu birkaç özel mod alınmaktadır. Bu halde, bu tür yapılarda rijit bölgelere etkiyen atalet kuvvetleri hesaba katılmamış olmaktadır. En büyük periyodu esas alan yönetmelik yöntemlerinde ise, bodrum katların kütleleri hesaba katıldığı zaman da bu bölgeye etkiyen atalet kuvvetlerinin yapının üst kısımlarına aktarılmış olması sakıncası ortaya çıkmaktadır.

Bu sorunlar düşünülerek, yapının rijit olmayan bölgesine ait özel vektörlerin rijit bölgedeki bileşenlerinin sıfıra eşit, buna karşın rijit bölgeye ait özel vektörlerin de rijit olmayan bölgeye ait bileşenlerinin sıfıra eşit olmaları özelliği ve bazı diğer özellikler de göz önünde tutularak, yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” in eşdeğer deprem yükü yöntemi başlığı altında rijit bodrumlu yapılar için izlenecek eşdeğer deprem yükü hesap yöntemi verilmiş ve bu çalışmada bu yöntem kullanılarak yapılan analizler ve analiz sonuçları T.D.Y olarak adlandırılmıştır.

Bu çalışmada bodrum bölgesinin tam rijit ve yarı rijit olması halleri ayrı ayrı incelenerek özel bir hal olan birinci özel periyodu esas alan yönetmelik yöntemiyle (EDY) ve rijit bodrumlu yapıların birinci özel periyodu esas alan yönetmelik yöntemiyle (TDY) elde edilen sonuçlar, modların süperpozisyonu yöntemiyle elde edilen sonuçlarla kıyaslanılmıştır. Zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile değerlendirmeler bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleri kullanılarak elde edilen bulgular ve saptamalar, sadece bölüm 3.2'de verilen çerçeve modellerine eşdeğer deprem yükü yöntemi ile mod birleştirme yöntemi ayrı ayrı uygulanarak, elde edilmiş hesap sonuçlarına göre verilmiştir. Uzay çerçeve modelleri ve üç boyutlu dinamik hesap sonuçları ile ilgili çalışma kapsam dışı tutulmuştur. Tüm hesap çerçevelerinde dinamik hesapları sonuçlarını etkileyen parametreleri azaltmak üzere yapı önem katsayısı (I) 1 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca tüm çerçevelerde elastisite modülü 28500000 kN/m^2 , etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) 0.40, spektrum karakteristik periyotları deprem yönetmeliğinde Z4 zemin sınıfı için verilmiş olan ($T_A - T_B$) 0.20 sn - 0.90 sn, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 8, poisson oranı 0.20 olarak seçilmiştir. Bu çalışmada araştırılan ve irdelenen konu rijit bodrumlu yapıların eşdeğer deprem yükü ve mod birleştirme yöntemleri bağlamında deprem davranışlarının belirlenmesi olduğundan analizlerde seçilen tüm hesap çerçevelerinin zemin üstü geometrik boyutları, kat kütleleri, ve malzeme parametreleri birbirlerinin aynısıdır. Tüm hesap çerçevelerinde yalnızca zemin altı bölgesine ait kolon boyutları, kat sayıları ve kat kütleleri değişkenler olarak seçilerek sadece bu parametreler etkisiyle çerçevelerin deprem davranışlarındaki değişimler irdelenmiştir. Bu çalışmada analitik değerlendirmeleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin hem eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hem de mod birleştirme yöntemiyle yapılan deprem hesapları SAP 2000 7.12 versiyonu bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Her iki yöntem içinde çerçevelerin bilgisayar programı ile yapılan dinamik modellemesi ve dinamik analizleri iki boyutlu olarak yapılmış, kat kütleleri her katın kütle merkezinde tanımlanmış ve döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı kabulü yapılmıştır.

Bu çalışmada birinci giriş bölümünde çalışmanın kapsamı, amacı ve yöntemi tanımlanmış, ikinci bölümde çalışmaya ışık tutmak amacıyla, yönetmelikte verilen dinamik hesap yöntemleri için kuramsal bilgiler verilmiş, daha sonra üçüncü ve dördüncü bölümlerde hesap yöntemlerinde yapılan kabuller, analizlere esas olan hesap çerçevelerinin tanıtımı, hesap çerçevelerinin deprem hesaplarının yapılması sonucu elde edilen analiz sonuçları, analitik değerlendirme sonucu elde edilen bulgular verilmiştir. Son bölüm olan 5. bölümde de analitik değerlendirmelerden çıkan sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

2. AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK TE ÖNGÖRÜLEN HESAP YÖNTEMLERİ

2.1 Kuramsal Bilgiler

1997 yılında hazırlanan ve 01.01.1998 yılında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” in 6.6.1 maddesinde, deprem etkisi altındaki bina türünden yapıların taşıyıcı sisteminde boyutlamaya esas olacak kesit etkilerinin bulunmasında farklı seviyelerde olan üç çözümlene yöntemi verilmiştir. Bu yöntemler bölüm 6.7 de verilen “Eşdeğer Deprem Yükü” yöntemi, bölüm 6.8 de verilen “Mod Birleştirme Yöntemi” ve bölüm 6.9 da tanımlanan “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri”dir.

- Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri : En çok zaman alıcı olan bu çözümlenmede, taşıyıcı sistem, zaman alanında boyutlama için kabul edilen bir benzetilmiş veya gerçek deprem hareketi esas alınarak, adım adım çözülür. Sistemin davranışı boyutlarına bağlı olduğu için, projelendirmenin ilk aşamasında kullanılabilecek bir yöntem değildir. Taşıyıcı sistemin davranışı elastik kabul edilebileceği gibi, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla elastik ötesi davranış da hesaba katılabilir. Yalnız bu durumda her yükleme durumu için ayrı rijitlik matrisi oluşturulması gerekir. Hesap yönteminin karmaşıklığı ve ayrıntılı olması sonuçların hakkı olmayan bir güvenle değerlendirilmesine sebep olabilir. Kabul edilen deprem hareketi ve taşıyıcı sistemin davranışı için yapılan mesnet kabulleri, kesit atalet momenti değerlerinin geçerliliği oranında elde edilen sonuçların güvenilir olduğu unutulmamalıdır. Bu çözümlene yöntemi, hesap teorilerinin çok ayrıntılı olması, çok sayıda iterasyon yapılması ve her iterasyon ile değişen rijitlik sebebiyle her iterasyon için tekrar rijitlik matrislerinin oluşturulması gerektirdiğinden, yine her yükleme durumu için ayrı ayrı rijitlik matrisleri oluşturulması gerektirdiğinden, projelerin ön tasarım aşamasında kullanılamamasından dolayı daha çok araştırma ve akademik çalışmalar için kullanılmakta olup pratik amaçlar için nadir olarak tercih edilmektedir. Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, inşaat mühendislerinin yapıların statik ve dinamik çözümlenmelerini yapabilmeleri için hazırlanmış özel bilgisayar yazılımlarının bir çoğunda da bu çözümlene yöntemi aynı gerekçelerle tercih edilmemiştir. Bu sebeple bu analiz yöntemi, bu çalışma kapsamındaki hesap çerçevelerinin analizlerinde kullanılmamış, konu ile ilgili değerlendirmeler bir başka çalışmaya bırakılmıştır.

- **Mod Birleştirme Yöntemi** : Bu elastik dinamik çözümleme yöntemi, sistemin davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilmesinden sonra birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır. Yapılarda kütlelerin katlarda toplandığı kabul edilerek her kat için iki öteleme ve bir dönme hareketi esas alınır. Dönme hareketi nedeniyle katlarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmemesinin etkisi de hesaba katılmış olur. Matematiksel olarak sağlam bir temele dayanmasına rağmen, gerçek taşıyıcı sistemi yansıtmasındaki eksiklikler nedeniyle kesin güveni zedeleyen bazı hususlara da sahiptir(Kumbasar,N,...,2001). Yöntemin hesap tekniği tamamen elastik davranışa dayanır. Sünek davranış esas alındığı oranda modları birleştirme tekniğinin uygulanabilirliği azalır. Betonun düşük gerilmelerde bile doğrusal davranıştan ayrılması, elastik davranış kabulünün geçerliliğini sınırlar. Depreme ait bilgilerin kabulünden sonra, tekniğin matematik çekiciliğine kapılarak sonuçlara aşırı güvenilmemelidir(Celep,Z,...,2001). Doğrusal elastik davranış kabul edilse bile, deprem ile ilgili bilgilerin güvenilirliği mertebesinde sonuçların doğru olduğu unutulmamalıdır. Yönetmeliklerde bu yöntemin önerildiği durumlarda bile, elde edilen sonuçların eşdeğer deprem yükü yöntemi'ninkilerle karşılaştırılması daima öngörülür. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğin 6.8.5 maddesinde de mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değerleri tayin edilmiştir. Mod birleştirme yöntemiyle elde edilen bina toplam deprem yükünün eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesaplanan bina toplam deprem yükünden küçük olması durumunda, mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri aynı yönetmelik maddesinin 6.18 denklemine göre büyütülmektedir.
- **Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi** : Yukarıda açıklanan konulardan olayı, bu yöntem taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği sınırlı olan binalar için, üç yöntemin en kullanışlısı ve faydalısı olarak bilinir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliğin kontrollü bir şekilde ve istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması, istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlere ihtiyaç duyulmaksızın yaygın bir şekilde uygulanabilir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzenli olan yapılarda yapı davranışını iyi bir şekilde temsil eder. Taşıyıcı sistemde düzensizlik bulunması durumunda mod birleştirme yöntemi öngörülse de, elde edilen sonuçların eşdeğer deprem yükü yöntemiyle bulunanla karşılaştırılması istenir.

“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” te ayrıca mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemleriyle yapılan deprem hesapları sonuçlarının tüm bina ve bina türü yapılarda kullanılabileceği, eşdeğer deprem yükü yöntemiyle yapılan deprem hesapları sonuçlarının ise sadece aşağıda verilen koşulları sağlayan binalar için geçerli olduğu belirtilmiştir.

- 1. ve 2. derece deprem bölgesinde, yapı toplam yüksekliği 25 m’den küçük olan ve A1 türü burulma düzensizliği olmayan varsa her bir katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı 2’den küçük veya eşit olan binalar
- 1. ve 2. derece deprem bölgesinde, yapı toplam yüksekliği 60 m’den küçük olan ve A1 türü burulma düzensizliği olmayan varsa her bir katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı 2’den küçük veya eşit olan ve B2 türü düzensizliği olmayan binalar
- 3. ve 4. derece deprem bölgesinde, yapı toplam yüksekliği 75 m’den küçük olan tüm binalar

2.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi’nde yapının birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntem de yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak da kabul edilebilir. Mod birleştirme yöntemi’nde toplam deprem kuvvetinin bulunmasında diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri hesaba katılır. Bu toplam kuvvetin katlara dağıtılmasında ilgili mod şekilleri esas alınır. Bu yöntem çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışını veren ifadelerin her mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesi olarak da görülebilir.

$$M_j = \sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2 \quad M_j^* = \frac{\left(\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj} \right)}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}^2} \quad (2.1)$$

$$V_{bj}(t) = M_j^* g \frac{A_j(t)}{g} \quad f_{bj}(t) = V_{bj}(t) \frac{m_i \phi_{ij}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{nj}}$$

2.1 denkleminde $V_{bj}(t)$ değeri j. modda etkiyen taban kesme kuvvetini, $f_{bj}(t)$ bu taban kesme kuvvetinde i. katta etkiyen kuvveti, ϕ_{ij} bu titreşimde i. kattaki yerdeğiştirmeyi ve M_j^* ilgili moddaki etkili modal kütle göstermektedir. Bu ifadelerde spektral değerler kullanılır ve bulunan elastik taban kesme kuvvetine R deprem yükü azaltma katsayısı uygulanırsa, I bina önem katsayısının da gözönüne alınmasıyla aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$V_{bj} = \max V_{bj}(t) = \frac{M_j^* g}{R} \max \left[\frac{A_j(t)}{g} \right] = \frac{M_j^* g}{R} \frac{A_j(T_j)}{g} = \frac{M_j^* g}{R} A_o I S_j(T_j) \quad (2.2)$$

Bu denklemde $S_j(T_j)$ yönetmelikte verilen boyutsuz ivme spektrumuna karşı gelmektedir.

Çok katlı çerçeve türünden taşıyıcı sistemlerin çözümünde, özellikle döşemelerin kendi düzlemlerinde rijit diyafram kabul edildiği durumda, kütlelerin bulunduğu noktaların serbestlik derecesini yatay düzlemde iki öteleme ve düşey ekseninde dönme olarak ayırmak mümkündür. Bu durumda i. kattaki kat kütlelerinin yatay iki doğrultuda öteleme ataleti ve düşey eksen etrafında dönme ataleti bulunacaktır. Kat kütlelerinin kütlesi m_i ve dönme kütle ataleti momentleri $m_{\theta ij}$ olarak gösterilirse, buna uygun olarak, j. moda i. katın x ve y eksenleri doğrultusundaki öteleme sırasıyla \hat{O}_{xij} , \hat{O}_{yij} ve düşey eksen etrafındaki dönmesi $\hat{O}_{\theta ij}$ ile gösterilirse, bu moddaki M_j Genelleştirilmiş (Modal) Kütle

$$M_j = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij}^2 + \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij}^2 + \sum_{i=1}^N m_{\theta i} \phi_{\theta ij}^2 \quad (2.3)$$

olarak verilebilir. Bu durumda etkili modal kütle de (M_j^*) iki eksen doğrultusundaki yer değiştirmeler için ayrı ayrı yazılabilir.

$$M_{xj}^* = \left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{xij} \right)^2 / M_j \quad M_{yj}^* = \left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{yij} \right)^2 / M_j \quad (2.3a)$$

$$\sum_{j=1}^{3N} (M_{xj} + M_{yj}) = \sum_{i=1}^N m_i$$

Son denklem 2.3a' da elde edilen etkili modal kütlelerin toplamının kat kütlelerinin toplamına eşit olduğu verilmiştir. Bu ifadelerde kat adedi N olarak kabul edilmiş, 3N taşıyıcı sistemin

kütle atanan serbestlik derecesine karşı gelmektedir.

Deprem etkilerinin yön değiştirebilen özelliğinden dolayı spektrum eğrilerinin hazırlanmasında ilgili parametrelerin işaretleri göz önüne alınmaz. Ayrıca, her titreşim mod şekli için bulunan değer depremin belirli bir zamanında olduğu için, elde edilen maksimum değerlerin üst üste toplanması uygun bir sonuç olmaz. Bunun yerine binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvetler, yer değiştirme ve relatif kat yer değiştirmesi gibi her mod için elde edilen r_{jo} büyüklüklerinin birleştirilmesi, T_i ve T_j gibi herhangi iki mod periyotlarının birbirinden $T_i / T_j > 0.80$ koşulunu sağlayacak kadar ayırık olması durumunda, Karelerinin Toplamının Kare Kökü Kuralı kullanılarak yapılabilir.

$$r(t)_{\max} \approx \left[[r_{1o}]^2 + [r_{2o}]^2 + [r_{3No}]^2 \right]^{1/2} \quad (2.4)$$

Mod periyotlarının yeterli ayırık olmaması durumunda yukarıdaki yaklaşım yerine Tam Karesel Birleştirme Kuralı kullanılarak da modal etkiler birleştirilebilir.

$$r(t)_{\max} \approx \left[\sum_{i=1}^{3N} \sum_{j=1}^{3N} \rho_{ij} r_{io} r_{jo} \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

2.5 denklemindeki ρ_{ij} çapraz koreleasyon katsayısını göstermektedir. Bu katsayı:

$$\rho_{ij} = \frac{8\varepsilon^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\varepsilon^2 \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2} \quad (2.6)$$

2.6 denklemini yardımı ile hesaplanabilir. Bu denklemde $\beta_{ij} = \omega_i / \omega_j$ serbest titreşim frekanslarının oranını ve ε sönüm oranını göstermekte olup, %5 olarak kabul edilebilir. Deprem yönetmeliğinde $T_i / T_j > 0.80$ koşulunun sağlanmadığı durumlarda mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme Kuralı kullanılması zorunlu kılınmış ve sönüm oranının %5 olarak alınacağı belirtilmiştir.

Doğrusal elastik bir sisteme bütün modların katkısı göz önüne alınarak matematiksel kesinlikte sonuç elde edilebilir. Ancak, orta ve şiddetli bir depremde taşıyıcı sistemin doğrusal elastik ötesi davranmasının söz konusu olması yanında, taşıyıcı sistemin ve deprem hareketinin parametrelerindeki belirsizlik nedeniyle matematiksel kesinlikte bir çözüme gidilmesine çok fazla ihtiyaç yoktur(Celep,Z,...,2000). Ayrıca, hesap hacminin sınırlı tutulması amacıyla göz önüne alınan mod sayısının aşırı arttırılmaması istenir.

Bu sebeplerle modların süperpozisyonu yönteminin uygulanmasında en önemli konu göz önüne alınacak mod sayısının belirlenmesidir. Yapıda düzensizlik fazla ise, kabul edilebilir yaklaşıklık için, göz önüne alınacak mod sayısı artar. Yapı ağırlığının etkili olan bölümü ilk moda büyük değer alırken, mod sayısının artmasıyla hızla küçülür. Yapılan örneklerden çerçeve türünden yapılarda genellikle yaklaşımın yer değiştirmelerde daha çabuk meydana geldiği, daha sonra sıra ile taban devrilme momenti, taban kesme kuvveti, kat kesme kuvvetlerinin geldiği belirlenmiştir. Yüksek modların katkısının üst katlardaki kesme kuvveti ve eğilme momentine, alt katlarınkinden daha çok etkili oldukları görülmüştür. Bunun yanında, aynı yaklaşımın elde edilebilmesi için kirişleri kolonlarına göre rijit olanlarda, olmayanlara göre daha az modun göz önüne alınmasının yeterli olduğu gözlenmiştir (Kumbasar,N,...,2001). Genel olarak alışıl gelen düzlem çerçevelerde ilk iki modu hesaba katmanın hatanın %15 in altında kalmasını sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle yeterli yaklaşım için göz önüne alınan modların (sayısı üçten az olmamak koşuluyla) etkin modal ağırlıkları toplamının bina toplam ağırlığının %90 ından az olmaması uygundur.

Modların katkısı, çerçevenin geometrik özellikleri yanında, karşı gelen spektral değerlere de bağlıdır. Eğer bir yapının birinci mod titreşim periyodu büyükse, diğer periyotlara karşı gelen spektral ivme değerleri daha büyük olabileceği için yüksek modların etkisi, birinci mod titreşim periyodu küçük olana göre daha büyük olabilir.

Deprem Yönetmeliği hesaba katılması gerekli mod sayısının belirlenmesini etkin kütle kavramına bağlamıştır. Buna göre mod sayısının belirlenmesinde birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90 ından az olmaması esas alınacaktır. Ayrıca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin %5 inden büyük olan bütün titreşim modları hesaba katılacaktır.

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5 ve -%5 i kadar kaydırılması ile kaydırılmış kütle merkezi elde edilir. Bu suretle kütle dağılımının düzgün olmamasının etkisi göz önüne alınır. Bu noktalar için yatay düzlemde iki öteleme ve düşey eksen etrafında dönme serbestlik derecesi göz önüne alınmalıdır. Katın öteleme kütlesi ile kütle merkezine göre hesaplanan kütleli dönme ataletinin bu kaydırılmış kütle merkezinde toplandığı kabul edilecektir.

A2 türünden döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak davranmaması muhtemel yapılarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil

değiştirmelerini göz önüne alacak sayıda serbestlik derecesi seçilmeli ve buralarda da kütlelerin toplandığı kabul edilmelidir. Ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, serbestlik derecesine sahip noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultuda kat boyutunun $\pm \%5$ i kadar kaydırılmalıdır.

Matematiksel bir bakış açısında Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre daha kesin bir yöntem olarak görülür. Ancak, taşıyıcı sistem elemanlarının davranışlarındaki ve atalet momentlerindeki belirsizlikler yanında hesapta depremi temsil eden spektrum eğrisindeki kabuller bu yöntemin de önemli bir yaklaşıklık içerdđini gösterir. Elastik deprem yükünün azalması, kesit hesaplarının daha sonra doğrusal olmayan kabullere dayanan taşıma gücü yöntemine göre yapılması da bu yöntemin yaklaşımlar içerdđine işaret eder. Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin kabullerinin daha az sayıda olması pek çok durumda yöntemle olan güveni arttırır. Bu nedenle yönetmelik Mod Birleştirme Yöntemiyle elde edilen çözümlene sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ninkilerle karşılaştırılmasını öngörmektedir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde mod katkılarının birleştirilmesi ile elde edilen bina toplam deprem yüğü V_{tb} nin Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen bina toplam deprem yüğü βV_t den küçük olması ($V_{tb} < \beta V_t$) durumunda, Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri $\beta \frac{V_t}{V_{tb}}$ katsayısı ile büyütülecektir. Binada A1, B2 ve B3 türü düzensizliklerden birinin bulunması durumunda $\beta = 1$ ve bu düzensizliklerin hiç birinin bulunmaması durumunda ise $\beta = 0.9$ alınacaktır.

2.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkiği kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur.

Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlanmasında kullanılan toplam eşdeğer deprem yükü, taban kesme kuvveti olarak bilinir ve W toplam yapı ağırlığı olmak üzere,

$$V_i = WA(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_o IW \quad (2.7)$$

şeklinde belirlenir. İfadedeki A spektral ivme katsayısı yönetmelikte

$$A(T_1) = A_o I S(T_1) \quad (2.8)$$

olarak verilmiştir. Burada A_o etkin yer ivmesi katsayısı, I yapı önem katsayısı, S spektrum katsayısı ve T_1 saniye olarak yapının birinci doğal periyodunu göstermektedir. Etkin yer ivmesi katsayısı, deprem tehlikesinin bölgedeki durumunu göstermekte olup, yönetmelikte deprem bölgesine bağlı olarak 0.10 ile 0.40 arasında değerler almaktadır. Yapı önem katsayısı, yapının kullanım amacına bağlı olarak belirlenir. Deprem Yönetmeliği'nde tasarım depreminin özel önemi olmayan binalar için 50 yıllık sürede aşılma olasılığının %10 olması öngörülmüştür. Depremden hemen sonra kullanılması gereken yapılarda ve halkın çok yığıldığı yapılarda, depremin doğuracağı can kaybı ve zarar daha fazla olacağından, bu tür yapılar için tekrarlanma periyodu uzun, daha şiddetli depremleri dikkate almak üzere yapı önem katsayısının 1'den daha büyük olarak seçilmesi öngörülmüştür. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te bu katsayı yapı tipine ve kullanım amacına göre 1 ile 1.5 arasında değerler almaktadır. Yönetmelikte spektrum katsayısı,

$$S(T_1) = 1 + 1.5T_1 / T_A \quad (0 \leq T_1 \leq T_A)$$

$$S(T_1) = 2.5 \quad (T_A \leq T_1 \leq T_B)$$

$$S(T_1) = 2.5(T_B / T_1)^{0.8} \quad (T_B \leq T_1) \quad (2.9)$$

ifadeleriyle tanımlanmıştır. Burada T_A ve T_B saniye olarak zemin spektrum karakteristik periyotlarını göstermektedir. Spektrum katsayısında başlangıçta lineer olarak yükselen bir kolun ardından en büyük değerini aldığı bölüm bulunmaktadır.

Daha sonra yapı periyodunun büyümesi ile katsayı parabolik olarak küçülmektedir. Spektrum katsayısı yumuşak zeminlerde (Z4) daha geniş periyot bölgesinde en büyük değerini alırken, sert zeminlerde (Z1) bu bölge daha dar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum zemin büyütmesinin yumuşak zeminlerde daha geniş bölgede etkili olduğuna işaret etmektedir. Deprem etkisinin bir dinamik etki olduğu düşünülürse, toplam deprem kuvvetinin kütle \times ivme şeklinde yazılabileceği kabul edilebilir. Bunun sonucu olarak $A_0 =$ maksimum deprem ivmesi / g olarak ifade edilebilir(Celep,Z,...,2001). Sonuç olarak taşıyıcı sisteme etkileyen toplam deprem yükü, $WA(T_1)$ şeklinde yapı ağırlığının spektral ivme katsayısı ile çarpımı olarak elde edilir. Bulunan bu deprem etkisini yapının elastik davranarak taşımasını öngörmek ekonomik olmayan büyük boyutların ortaya çıkmasına neden olur. Deprem Yönetmelikleri'nde çağdaş genel eğilim, meydana gelmesi olasılığı düşük olan deprem etkisinin taşıyıcı sistemin elastik ötesi kapasitesinin de gözönüne alınarak taşınmasıdır. Ancak, elastik ötesi davranışı göz önüne alan çözümlerlerin zorluğu nedeniyle, $WA(T_1)$ deprem yükünü göz önüne alarak doğrusal olmayan elastik ötesi davranış ile çözümleme yapmak yerine $WA(T_1)/R_a(T_1)$ şeklinde deprem yükünü azaltıp doğrusal elastik davranış kabulü ile çözümleme yapılarak bir eşleştirme yapılır. Burada R_a deprem yükü azaltma katsayısı olup, bunun kullanılmasıyla taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan elastik ötesi davranış nedeniyle artan kapasite gözönüne alınmaktadır. Ancak, taşıyıcı sistemde gevrek güç tükenmesi önlenmiş ve sünek davranışın ortaya çıkması sağlanmışsa, deprem yükü azaltma katsayısının kullanılması anlamlıdır. Bu katsayı taşıyıcı sistemin özelliğine bağlıdır. Hiperstatiklik derecesi yüksek olan taşıyıcı sistemde, elemanlar arası yardımlaşma daha fazla ve doğrusal olmayan elastik ötesi davranış nedeniyle kapasite artması, dolayısıyla deprem yükü azaltma katsayısı daha büyüktür. Yönetmelikte R_a deprem yükü azaltma katsayısı,

$$R_a(T_1) = 1.5 + (R - 1.5)T_1 / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_a(T_1) = R \quad (T_A \leq T) \quad (2.10)$$

olarak verilmiştir. Yönetmelikte tanımlanan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı, T_1 yapı periyoduna ve T_A zemin spektrum karakteristik periyoduna bağlı olarak 3 ile 8 değerleri arasında verilmiştir. Titreşim periyodu çok küçük yapılarda relatif olarak daha rijit ve gevrek oldukları için bu katsayı daha düşük tutulmuş, buna karşılık periyodun artmasıyla daha kolay şekil değiştiren sünek yapılarda bu azaltma katsayısı daha yüksek olarak öngörülmüştür.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te birinci ve ikinci deprem bölgelerinde temel üstünden ölçülen bina toplam yüksekliğinin $H_N \cdot 25m$ olması durumu ile üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda, yapının birinci doğal titreşim periyodu T_1

$$T_1 \approx C_t H_N^{0.75} \quad C_t = 0.07(0.05) \text{ çerçevesiz (perdeli) yapılarda} \quad (2.11)$$

2.11 denklemi yardımıyla yaklaşık olarak hesaplanabileceği verilmiştir. Ayrıca yapının deprem hesabına esas olacak birinci doğal titreşim periyodu

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\left[\frac{\sum (m_i d_n^2)}{\sum (F_n d_n^2)} \right]} \quad (2.12)$$

2.12 formülüyle daha gerçekçi olarak hesaplanabileceği belirtilmiştir. Burada; m_i kat kütlelerini, d_n fiktif yüklerin etkisiyle deprem doğrultusunda hesaplanan kat yer değiştirmeleri ve F_n fiktif yüküdür. Toplama düşey kesitte her kat göz önüne alınarak yapılacaktır.

Taban kesme kuvveti V_i nin hesaplanmasında kullanılacak W toplam yapı ağırlığı yönetmekte

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (2.13)$$

olarak verilmiş olup, W kat ağırlıkları

$$W_i = G_i + n Q_i \quad (2.14)$$

olarak hesaplanacaktır. Burada; G_i ve Q_i söz konusu kattaki sabit ve hareketli yüklerin toplamıdır. Hesaba esas olan depremin meydana gelmesi ile bütün alanlarda hareketli yükün tam olarak bulunmasının beraberce ortaya çıkması ihtimalinin çok düşük olacağı düşünülerek, 0.30 – 0.80 arasında değer alan n gibi bir hareketli yük azaltma katsayısı yönetmelikte öngörülmüştür.

Aynı periyotla çeşitli harmonik titreşimler yapan bir kütlede meydana gelecek atalet kuvveti, hareketin genliği ile doğru orantılıdır. Düşey konsol şeklinde kabul edilebilecek bir yapıda, genliklerin zemin seviyesinden itibaren yukarı doğru arttığı gözönüne alınırsa, deprem kuvvetlerinin de benzer değişim göstereceği kabul edilebilir.

Doğrusal bir dağılış esas alınır, yapının kat seviyelerine uygulanacak F_i yatay deprem yüklerinin

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (2.15)$$

2.15 denkleminle hesaplanabileceği deprem yönetmeliğinde verilmiştir. Burada, ΔF_N yapının en üst katına ek olarak uygulanacak yatay yük olup

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.20 V_t \quad (2.16)$$

2.16 formülüyle hesaplanacaktır. Eğer yapının en üst katının temel seviyesinden yüksekliği 25 m'den az ise $\Delta F_N = 0$ alınabilir. Görüldüğü gibi, birinci titreşim şeklinin ötesinde ortaya çıkacak diğer titreşim şekillerinin etkisini gözönüne almak üzere öngörülen bu ΔF_N kuvveti yüksekliği büyük olan narin yapılarda önem kazanmaktadır.

Bulunan F_i kat yatay yükleri kat kütle merkezlerine etkiğinden, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmediği durumlarda deprem etkisi katları, öteleme yer değiştirmesi yanında, kata etkiyen burulma momenti nedeniyle bir açısız yer değiştirmesine zorlar. Bu ise, katlar arasındaki yer değiştirmeyi artırırken, kiriş ve kolonlarda ek eğilme momentleri doğmasına sebep olur. Yönetmelik, her iki doğrultuda kütle merkezi ile rijitlik merkezi arasındaki dışmerkezliğe yatay yük doğrultusuna dik doğrultudaki bina boyutunun $\pm\%5$ i eklenerek bulunacak burulma momentine göre irdelenmesini öngörmektedir. Böylece, deprem durumunda düzgün olmayan kütle dağılımından doğacak olan burulma momenti de hesaba katılmaktadır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle çözümlenmesi durumunda, diğer yapılardan farklı olarak bu tür yapıların çözümlenmesinde izlenecek Eşdeğer Deprem Yükü Hesap Yöntemi'nde bazı değişiklikler öngörmüştür. En büyük periyodu esas alan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin hiçbir değişiklik yapılmadan bu tür yapılara uygulanması durumunda, bodrum katlarında çok büyük rijitliğe ve kütleyle sahip rijit bodrumlu yapıların rijit bölgelerine etkiyen atalet kuvvetlerinin yapının üst kısımlarına aktarılmış olması sakıncası ortaya çıkacaktır.

Yönetmelik bu sakıncayı gidermek üzere yukarıda tanımlanmış Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin genel uygulama prensiplerinde ve formüllerinde hiçbir değişiklik yapmadan, rijit bodrumlu yapıların bodrum katlarına ve üstteki katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin ayrı ayrı hesaplanması gerektiğini belirtmiştir. Bu halde,

- a) Rijit bodrumlu yapıların üstteki katlarına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin denklem 2.7, 2.15 ve 2.16 ' ya göre belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri gözönüne alınmaksızın seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) kullanılacak ve sadece üst katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Bu durumla ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu gözönüne alınacaktır. Denklem 2.12 ye göre yapının doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır.
- b) Rijit bodrumlu yapıların rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları gözönüne alınacak ve bu katlar için hesap üstteki katlardan bağımsız olarak yapılacaktır. Binanın bu bölümünde doğal titreşim periyodu hesaplanmaksızın spektrum katsayısı olarak $S(T) = 1$ alınacaktır. Her bir bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında, denklem 2.8' den bulunan spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler, $R_d(T) = 1.5$ katsayısına bölünerek azaltılacaktır.
- c) Üstteki katlardaki iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, sadece (a) paragrafına göre taşıyıcı sistemin tümünün hesabından elde edilen büyüklüklerdir. Bodrum katlarındaki iç kuvvetler ise, yukarıdaki (a) ve (b) paragraflarında tanımlanan deprem yüklerine göre bodrum katlarında elde edilen iç kuvvetlerin karelerinin toplamının karekökü olarak elde edilecektir.

Katlara yatay olarak etkiyen eşdeğer deprem yükleri, katlarda meydana getirdikleri kesme kuvveti sebebiyle kolon ve kirişlerde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluştururlar. Bunun yanında, yatay yükler kolonlarda aksenal kuvvetler doğuran devrilme momenti meydana getirirler. Bu moment dolayısıyla, yapının bir tarafındaki kolonlarda normal kuvvet azalırken diğer taraftaki kolonlarda artış ortaya çıkar. Ancak, Yönetmelik'te verilen yatay deprem kuvvetlerinin hepsinin aynı yönde etkidiği kabul edildiğinden devirme momenti genellikle olduğundan büyük hesap edilir. Yönetmelikte öngörülmemiş olmakla birlikte, özellikle yüksek titreşim modlarının etkili olduğu büyük periyotlu yapılarda T yapının birinci titreşim periyoduna bağlı olarak $T < 0.5s$ için $J=1.00$, $0.5s < T < 1.5s$ için $1.00 < J < 0.45$, $1.5s < T$ için $J=0.45$ şeklinde hesaplanacak bir J katsayısıyla tabandaki devrilme momentinin azaltılması uygun olabilir(Celep,Z,...,1996).

3. ANALİZLERDE KULLANILAN HESAP ÇERÇEVESİ MODELLERİ

Çalışmanın bu bölümünde, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik' te deprem etkisi altındaki yapıların taşıyıcı sistemlerinin boyutlandırılabilmesi amacıyla, verilmiş olan Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemleri' nin çalışmanın 3.2 Bölümünde tanıtılan hesap çerçevelerine uygulanmasında izlenen yol, yöntemlerde yapılan hesap kabulleri ve analizlerde kullanılan hesap çerçeveleri verilmiştir.

3.1 Hesap Yöntemlerinde İzlenen Yol ve Kabuller

Bu çalışmada ; Deprem Yönetmeliği'nde deprem etkisi altındaki yapıların taşıyıcı sistemlerinin boyutlandırılması için verilen Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemleri'nin kuramsal verileri bağlamında ; bu donelerin bodrum kat rijitlikleri ve bodrum kat kütleleri değişken olarak seçilebilen hayali hesap çerçevelerine uygulanması ile bodrum katlarındaki rijitliği üst katlarına oranla aynı, büyük ve çok büyük olarak tasarlanan yapı hesap çerçevelerinin yönetmelikte tariflenen mod birleştirme ve eşdeğer deprem yükü yöntemleriyle bilgisayar ortamında çözümlenmeleri yapılarak, hesap çerçevelerinin her iki hesap yöntemi için deprem etkisi altındaki davranışları analitik olarak incelenmiştir. İzlenen bu yol sebebiyle çalışma, literatür taramasına dayanan kuramsal bir çalışma olmaktan çok, sayısal bir araştırma niteliğindedir.

Yapıların dinamik bir etki olan deprem yükü altındaki davranışları, statik olarak nitelendirilebilecek düşey yükler altındaki davranışlarına nazaran daha fazla sayıda belirsizlikler ve parametreler içerir. Bu parametreler ; yapı toplam yüksekliği, yapı kat yükseklikleri ve adedi, yapı kat ağırlıkları, taşıyıcı sistem eleman sayıları ve açıklıkları gibi yapının geometrik özelliklerine ; taşıyıcı sistem eleman boyutları ve tipleri (çubuk, levha ve kabuk eleman tipleri), malzeme elastisite modülü ve poisson oranı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı gibi yapının dayanımı ile ilgili özelliklerine ; etkin yer ivmesi katsayısı, spektrum karakteristik periyotları gibi yapının içinde bulunduğu bölge ve zemin cinsi özelliklerine bağlıdır. Tüm numerik çalışmalarda yapıldığı üzere bu çalışmada da, çözümlenmeleri yapılacak hayali hesap çerçevelerinin uygun şekilde seçilmesiyle, rijit ve yarı rijit bodrumlu yapıların deprem yükü altındaki davranışlarını etkileyecek parametrelerin azaltılması yoluna gidilmiştir. Seçilen bu hesap çerçeveleri çalışmanın 3.2 bölümünde verilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi hesap çerçevelerinin deprem hesapları, çalışmanın 2.bölümünde ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilmiş Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi hesap kuralları esas alınarak, bilgisayar ortamında SAP2000 yazılımı 7.12 versiyonu yardımıyla yapılmıştır. Bu bilgisayar yazılımı, yapı mühendisliğinde yapıların statik ve dinamik analizlerini sonlu elemanlar metodu yöntemini kullanarak yapan, hem akademik çalışmalar hem de pratik amaçlar için çok yaygın olarak kullanılan ve sonuçlarına güvenilen bir bilgisayar yazılımıdır. Bu çalışmada, hesap çerçevelerinin bu yazılım kullanılarak yapılan modal ve eşdeğer deprem yükü analizlerinde düzlem çerçevelerin, deprem yönetmeliğinde Z4 zemin sınıfı olarak adlandırılan zemin üzerinde buldukları varsayılarak analizlerde ve eşdeğer kat deprem yüklerinin hesaplanması aşamasında bu zemin sınıfı için yönetmelikte verilmiş olan tasarım deprem spektrumu kullanılmıştır. Hesaplara esas olan bu tasarım deprem spektrumu eğrisi Şekil 3.1.1' de verilmiş olup, yönetmelikte tariflenmiş diğer zemin sınıfları ile ilgili çalışma bir başka araştırmaya bırakılmıştır. Bu çalışmada yapılan diğer kabuller ve izlenen yollar aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Modal Analiz Yönteminde İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri

Bu çalışmada Bölüm 3.2'de verildiği üzere üç adet düzlem çerçeve hesap modelinin (3 Bodrum Hesap Çerçevesi Modeli, 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Hesap Çerçevesi Modeli, Tek Bodrum Hesap Çerçevesi Modeli) Mod Birleştirme Yöntemi ile dinamik analizi yapılmıştır. Tüm bu hesap çerçevelerinin, mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılan deprem hesaplarında dinamik parametreler olarak önceden belirlenmesi gereken hesap verilerinden etkin yer ivmesi katsayısı $A_o = 0.40$; spektrum karakteristik periyotları ($T_A - T_B$) (0.20s – 0.90s) ; malzeme elastisite modülü (E_c) 28500000 kN/m² ve poisson oranı 0.20 olarak seçilmiştir. Bu hesap kabulleri ile, çalışmada ele alınan düzlem çerçeve modellerinin dinamik analizlerinde, bu parametrelerden kaynaklanacak deprem davranışlarındaki farklılıklar ortadan kaldırılmış olmaktadır. Ayrıca yönetmelikte önerilmemesine rağmen, bir başka dinamik parametre olan R taşıyıcı sistem davranış katsayısının, çalışmada incelenen hesap çerçevelerinin deprem etkisi altındaki davranışlarında etken olması istenmemesinden, bodrum kat rijitliğinin çok artması sonucu azalacak olan süneklik gözardı edilerek, tüm hesap çerçeveleri için $R = 8$ olarak kabul edilmiştir. Analizlerde kat kütleleri yönetmelikte öngörülene uygun olarak kat kütle merkezinde tanımlanmış ayrıca kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştıkları kabulüyle her kata ait düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılmıştır.

Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen üç adet düzlem çerçeve modelinde tüm hesap çerçevelerinin zemin altı ve zemin üstü olarak iki bölümde ele alındığı görülecektir. Bütün hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü kısımlarının tüm özellikleri birbirinin aynısı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmadan amaçlanan, rijit bodrumlu yapıların sadece bodrum katlarındaki rijitliklerinin ve kütlelerinin artması sebebiyle deprem yükleri altındaki davranışlarının yönetmelikte öngörülen Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' ne göre irdelenmesi olduğundan, bu amaca uygun olarak seçilen hesap çerçevesi modellerinin zemin üstündeki kısımlarının birbirlerinin tamamen aynısı olması istenmiştir. Yine aynı amaca uygun olarak bütün hesap çerçevesi modellerinin zemin altındaki kısımlarının birbirlerinden farklı olması sağlanmıştır. Sadece tüm hesap çerçeveleri modellerinde, hem zemin altındaki hem de zemin üstündeki kısımlarda bulunan kirişlerin tüm özelliklerinin birbirlerinin aynısı olması tercih edilmiştir. Böylece kirişlerin hesap çerçevelerinin deprem etkisi altındaki davranışlarına olan etkileri relatif olarak ortadan kaldırılmıştır. Çalışmada bodrum katlardaki eğilme rijitliği artışı, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonların bodrum katlardaki en kesit boyutlarının büyütülmesi suretiyle bu bölgede bulunan kolonların atalet momentlerindeki artışla sağlanmıştır. Bu amaçla çözümlenmeleri yapılan çerçeve hesap modellerinin zemin altındaki kolonlarının en kesit boyutları için, zemin üstü bölgesinde sabit olarak seçilmiş 40x40 cm kolon boyutlarından başlanarak sonsuz eğilme rijitliğine ulaşılan kadar onaltı ayrı en kesit değeri seçilmiştir. Bu seçilen onaltı adet bodrum kat kolonları en kesit değerleri hesap çerçevesi analiz sonuçlarında verilmiştir. Sonuç olarak Mod Birleştirme Yöntemiyle dinamik analizleri yapılan üç adet düzlem çerçeve modellerinin her biri için onaltı adet çözümlenme yapılmak suretiyle toplam $3 \times 16 = 48$ adet dinamik analiz yapılmış ve analiz sonuçları Bölüm 4' te verilmiştir. Her bir düzlem çerçeve modelinin, zemin altı bölgesinde seçilen her bir bodrum kat kolon en kesit boyutu için, bilgisayar ortamında SAP2000 bilgisayar yazılımı yardımıyla, yapılan Mod Birleştirme Yöntemi dinamik analiz hesaplarında izlenen yol aşağıda verilmiştir.

1. *Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen hesap çerçevesi modellerinin geometrik özellikleri gözönüne alınarak hesap modelinin oluşturulması.*
2. *Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri parametrelerinin tanımlanması.* Bu çalışmada Elastisite modülü : 28500000 kN/m² ve Poisson oranı : 0.20 olarak seçilmiştir.
3. *Çözümlemede kullanılacak taşıyıcı sistem elemanları tiplerinin, en kesit boyutlarının tanımlanması ve ilgili elemanlara atanması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm düzlem çerçevelerde taşıyıcı sistem elemanları çubuk elemanlar olarak seçilmiştir.

4. *Kat kütlelerinin tanımlanması ve ilgili düğüm noktalarına kat kütlelerinin atanması.* Bu çalışmada kat kütleleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verildiği gibi katların kütle merkezlerinde toplanmış ve şekillerde gösterilen yönde tanımlanmıştır.
5. *Mesnet şartlarının tanımlanması.* Bu çalışmada çözümleneleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin en alt kolonlarının temele tam ankastre olarak bağlı olduğu kabul edilmiştir.
6. *Kat hizalarındaki düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.
7. *Gözönüne alınacak mod sayısının belirlenmesi.* Bu çalışmada rijit bodrumlu yapıların deprem yükleri altındaki davranışları irdelendiğinden, çok küçük periyot değerlerindeki modların katkısının önemli olacağı düşünülerek analizlerde tüm modların katkıları hesaba katılmıştır. Dolayısıyla 7 adet kat kütlesi tanımlanan 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Hesap Çerçevesi Modeli ve Bodrum Hesap Çerçevesi Modellerinde gözönüne alınacak mod sayısı 7 olarak belirlenmiş, Tek Bodrum Hesap Çerçevesi Modeli'nde ise 5 adet kat kütlesi tanımlandığından 5 adet mod sayısı yapılan analizlerde dikkate alınmıştır(Bkz. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3).
8. *Analizlerde kullanılacak deprem spektrumu fonksiyonun tanımlanması ve kullanılacak mod katkılarını birleştirme yönteminin seçilmesi.* Çözümlemede kullanılacak deprem spektrumu fonksiyonun spektrum karakteristik periyotları $(T_A - T_B)$ (0.20 s-0.90 s) olarak kabul edilmiş ve bu parametreler yardımıyla denklem 2.9' da verilen formüller kullanılarak spektrum fonksiyonu tanımlanmıştır. Ayrıca spektrum ölçek katsayısı = $A_0 \times g = 0.40 \times 9.81 = 3.924$ olarak hesaplanmıştır. Mod katkılarının birleştirilmesi ise tüm çözümleneler için kareleri toplamının kare kökü yöntemiyle yapılmıştır.
9. *Yük kombinezonunun belirlenmesi.* Bu çalışmada Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılan tüm analizlerde taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ olarak kabul edilmiş ve tanımlanan deprem spektrumuna göre elde edilen deprem analiz sonuçları yönetmeliğin öngördüğü şekilde yük kombinezonu ölçek katsayısı $=1/R=1/8 = 0.125$ ile azaltılmıştır.

3.1.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde (EDY) İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri

Bu çalışmada Bölüm 3.2’de verilen üç adet düzlem çerçeve hesap modeline Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDY) uygulanarak bu düzlem hesap çerçevelerinin dinamik analizleri yapılmıştır. Bu bölümde verilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılan çözümlenmelerde, verilen tüm bu hesap çerçevelerinin eğilme rijitliğini arttırmak için büyütülen bodrum kat kolon en kesit boyutlarının her bir değeri için, büyüterek sonsuz eğilme rijitliğine sahip olan bodrum kat kolonları sebebiyle çok rijit bodrum kat rijitliliğine sahip olan hesap çerçevelerinin, bu çalışmada EDY kısaltması ile adlandırılan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre yapılan deprem hesaplarında Bölüm 2’de ve Deprem Yönetmeliği’nde verilen hesap kurallarına uyulmuştur. Yönetmelikte rijit bodrumlu yapıların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak yapılan deprem hesapları için, bu tür yapılarda zemin altındaki bodrum katları ile zemin üstünde bulunan katları için ayrı ayrı hesap yapılması, daha sonra elde edilen değerlerin yönetmelikte tarif edildiği şekilde birleştirilmesiyle sonuç değerlerin hesaplanacağı verilmiştir. Ancak bu çalışmada, EDY kısaltması ile adlandırılan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre verilen hesap çerçeveleri için yapılan deprem hesaplarında, rijit bodrumlu çerçevelerin bodrum katlarına ve üstteki katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri ve deprem hesapları yönetmelikte öngörülen şekilde ayrı ayrı hesaplanmayıp, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri denklem 2.15 ile bulunup ilgili kat seviyelerinde tanımlanmış ve bu dinamik eşdeğer deprem yükleri altında yapılan statik çözümlenme tüm hesap çerçevesi için yapılmıştır. Aynı uygulama, yapının birinci doğal titreşim periyodunun hesabı, yapıya etkiyen toplam deprem yükünün denklem 2.7 ile hesabı ve kat ağırlıklarının hesabı içinde aynen uygulanmıştır. Bu çalışmada EDY ile yapılan dinamik çözümlenmelerde ele alınan çerçeveler için tekrar birinci doğal titreşim periyodu hesaplanmamış, Mod Birleştirme Yöntemi’yle yapılmış olan dinamik analizlerde hesaplanmış olan birinci doğal titreşim periyodu dikkate alınmıştır. Böylece birinci doğal titreşim periyotlarının hesaplanması için verilen denklem 2.12 ye göre bu periyot değerleri hesaplanmış olmaktadır. Tüm bu hesap çerçevelerinin, Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) ile yapılan deprem hesaplarında dinamik parametreler olarak önceden belirlenmesi gereken hesap verileri (A_0 , I , E_c v.b.) bölüm 3.1.1’de verildiği gibidir. Bu hesap kabulleri ile, çalışmada ele alınan düzlem çerçeve modellerinin dinamik analizlerinde, bu parametrelerden kaynaklanacak deprem davranışlarındaki farklılıklar ortadan kaldırılmış olmaktadır. Ayrıca EDY hesap yöntemi kullanılarak yapılan deprem hesaplarında da Modal Analiz Yöntemi’yle yapılan

çözümlemelerde olduğu gibi taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$ olarak seçilmiştir. Analizlerde yönetmelikte öngörülene uygun olarak yapının kat seviyelerine uygulanacak yatay eşdeğer deprem yükleri denklem 2.15'e göre hesaplanmış ayrıca kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışmaları kabulüyle her kata ait düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılmıştır.

Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen üç adet düzlem çerçeve modelinin EDY yöntemiyle yapılan dinamik hesaplarında, bu düzlem hesap çerçevelerinin tüm geometrik özellikleri, bir önceki bölümde açıklanan Modal Analiz Yöntemi kullanılarak yapılmış dinamik analizler için verilen geometrik özelliklerin tamamen aynıdır. Bu hesap kabulleri doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (EDY) ile dinamik analizleri yapılan üç adet düzlem çerçeve modelli için toplam $3 \times 16 = 48$ adet dinamik analiz yapılmış ve analiz sonuçları Bölüm 4' te verilmiştir. Her bir düzlem çerçeve modelinin, seçilen her bodrum kat kolon en kesit boyutu için bilgisayar ortamında yapılan EDY yöntemiyle dinamik analiz hesaplarında izlenen yol aşağıda verilmiştir.

1. Hesap çerçeveleri kat ağırlıklarının denklem 2.13 ve denklem 2.14 ile hesaplanması.
2. Hesap çerçevelerinin birinci doğal titreşim periyodu değerlerinin hesaplanması
3. Spektrum karakteristik periyotları ve hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu değeri dikkate alınarak denklem 2.9 yardımıyla spektrum katsayısının hesaplanması.
4. Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 yardımıyla çerçevelere etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplanması.
5. Denklem 2.15 yardımıyla kat seviyelerine uygulanacak eşdeğer yatay deprem yüklerinin hesaplanması.
6. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen hesap çerçevesi modellerinin geometrik özellikleri gözönüne alınarak hesap modelinin oluşturulması.
7. Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri parametrelerinin tanımlanması. Bu çalışmada Elastisite modülü : 28500000 kN/m² ve Poisson oranı : 0.20 olarak seçilmiştir.
8. Çözümlemede kullanılacak taşıyıcı sistem elemanları tiplerinin, en kesit boyutlarının tanımlanması ve ilgili elemanlara atanması. Bu çalışmada ele alınan tüm düzlem hesap çerçevelerindeki taşıyıcı sistem elemanları çubuk elemanlar olarak seçilmiştir.

9. *Mesnet şartlarının tanımlanması.* Bu çalışmada çözümlenmeleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin en alt kolonlarının temele tam ankastre olarak bağlı olduğu kabul edilmiştir.
10. *Kat hizalarındaki düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.
11. *Kat seviyelerine uygulanacak eşdeğer yatay deprem yüklerinin ilgili katlarda tanımlanması.*
12. *Düzlem hesap çerçevelerinin tanımlanan eşdeğer dinamik hesap yüklerine göre statik hesabının yapılması.*

3.1.3 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte Rijit Bodrumlu Yapılar İçin Öngörülen Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminde (TDY) İzlenen Yol ve Yapılan Hesap Kabulleri

Çalışmanın bu bölümünde Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen üç adet düzlem çerçeve hesap modelinin Yönetmelik'te rijit bodrumlu yapılar için öngörülen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (TDY) ile dinamik analizleri yapılmıştır. Bu bölümde verilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (TDY) ile yapılan deprem analizlerinde Bölüm 2'de ve Deprem Yönetmeliği'nde verilen hesap kurallarına uyulmuştur. Ancak TDY kısaltması ile adlandırılan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine göre yapılan deprem analizlerinde, bodrum katları zemin üstündeki katlarına oranla çok rijit olmayan düzlem hesap çerçevelerinin çözümlenmelerinde de Yönetmelik'te rijit bodrumlu yapılar için öngörülen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi hesap yöntemi izlenmiştir. Aynı uygulama, yapının birinci doğal titreşim periyodunun hesabı, yapıya etkiyen toplam deprem yükünün denklem 2.7 ile hesabı ve kat ağırlıklarının hesabı içinde aynen uygulanmıştır. Tüm bu hesap çerçevelerinin TDY yöntemi ile yapılan deprem hesaplarında dinamik parametreler ve yöntemin uygulanması aşamasında yapılan hesap kabulleri daha önce 3.1.1 ve 3.1.2 bölümlerinde açıkladığı gibidir.

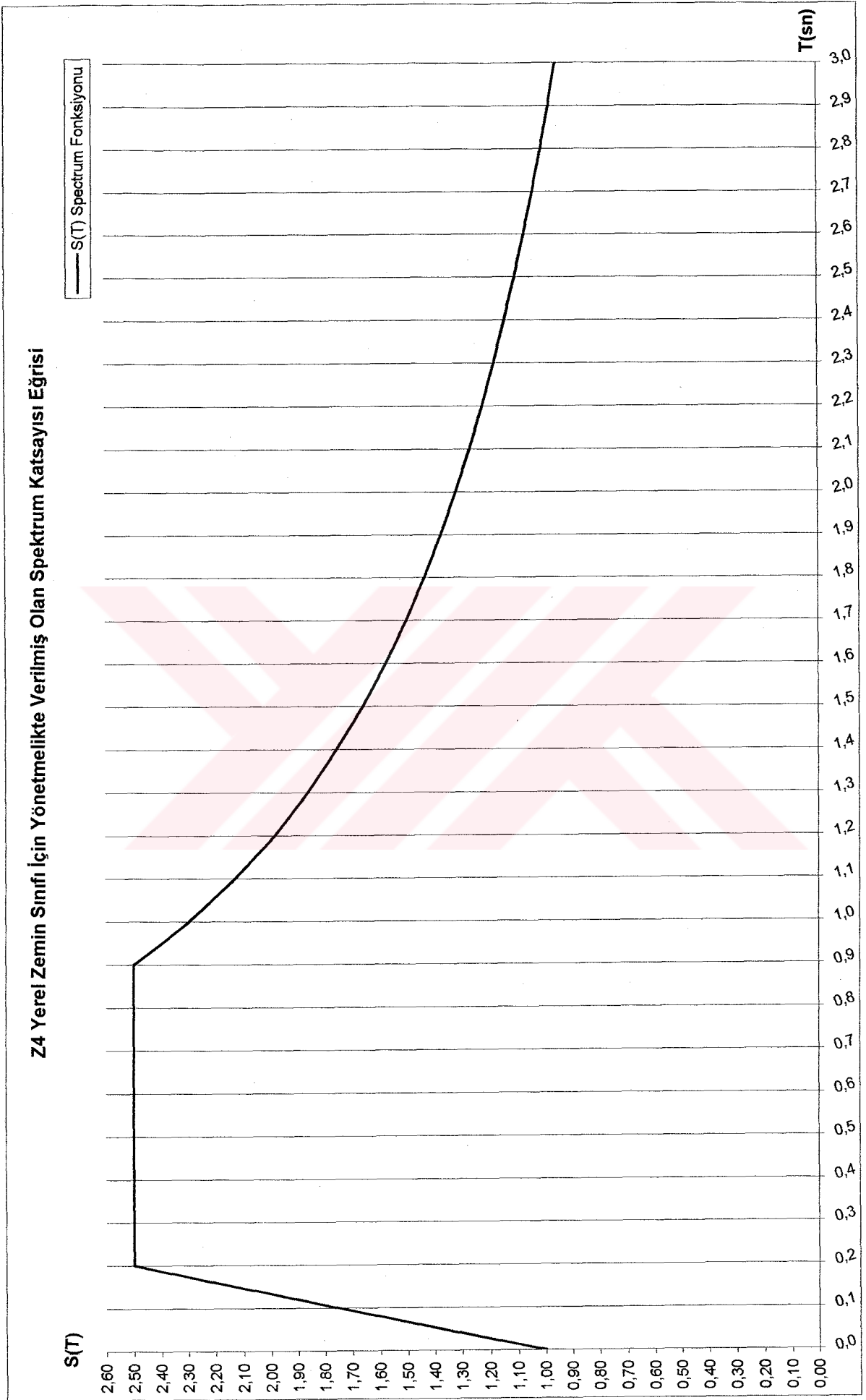
Bu yöntem kullanılarak yapılan deprem hesaplarında Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen üç adet düzlem hesap çerçeveleri zemin altı ve zemin üstü olmak üzere iki ayrı bölümde incelenmiştir. Seçilen bu düzlem hesap çerçevesi modellerinin TDY yöntemiyle yapılan deprem hesaplarında hesap çerçevelerinin hem zemin altı hem de zemin üstü bölgesine ait geometrik özellikler ile yapılan hesap kabulleri bir önceki bölümde açıklandığı gibidir. Sonuç olarak yönetmelikte rijit bodrumlu yapılar için öngörülen Eşdeğer Deprem

Yükü Yöntemi (TDY) ile dinamik analizleri yapılan düzlem çerçeve hesap modelleri için toplam $3 \times 16 = 48$ adet dinamik analiz yapılmış ve analiz sonuçları Bölüm 4' te verilmiştir. Her bir düzlem çerçeve hesap modelinin zemin altı bölgesinde seçilen tüm bodrum kat kolon en kesit boyutları için, yönetmelikte rijit bodrumlu yapılar için öngörölmüş Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (TDY) uygulanarak, bilgisayar yardımıyla yapılan dinamik analiz hesaplarında izlenen yol aşağıda verilmiştir.

1. Hesap çerçeveleri modellerinin zemin üstü kısımlarına ait kat ağırlıklarının denklem 2.13 ve denklem 2.14 yardımıyla hesaplanması .
2. Hesap çerçeveleri modellerinin zemin üstü kısımlarına ait birinci doğal titreşim periyodunun denklem 2.12 yardımıyla hesaplanması.
3. Hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü kısımlarına ait spektrum katsayısının, spektrum karakteristik periyot değerleri ve hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu değeri dikkate alınarak hesaplanması.
4. Hesap çerçeveleri modellerinin zemin üstü kısımlarına etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün denklem 2.7 ve denklem 2.8 yardımıyla hesaplanması.
5. Hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü kısmındaki kat seviyeleri hizasında etkiyecek eşdeğer yatay deprem yüklerinin denklem 2.15 yardımıyla hesaplanması.
6. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3' te verilen hesap çerçevesi modellerinin geometrik özellikleri gözönüne alınarak hesap modelinin oluşturulması.
7. Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri parametrelerinin tanımlanması. Bu çalışmada Elastisite modülü : 28500000 kN/m² ve Poisson oranı : 0.20 olarak seçilmiştir.
8. Çözümlemede kullanılacak taşıyıcı sistem elemanları tiplerinin, en kesit boyutlarının tanımlanması ve ilgili elemanlara atanması. Bu çalışmada analizleri yapılan tüm düzlem çerçeve modellerindeki taşıyıcı sistem elemanları çubuk elemanlar olarak seçilmiştir.
9. Mesnet şartlarının tanımlanması. Bu çalışmada çözümlemeleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin en alt kolonlarının temele tam ankastre olarak bağlı olduğu kabul edilmiştir.

10. *Kat hizalarındaki düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.
11. *Kat seviyelerine uygulanacak eşdeğer yatay deprem yüklerinin ilgili katlarda tanımlanması.* Bu aşamada, yönetmelikte rijit bodrumlu yapılar için öngörülen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine (TDY) uygun olarak, sadece 5. maddede hesaplanmış çerçevelerin zemin üstündeki kat seviyelerine etkiyen yatay eşdeğer deprem yükleri, ilgili kat seviyelerinde tanımlanmıştır. Bodrum katlara etkiyen yatay deprem yükleri dikkate alınmamıştır.
12. *Düzlem hesap çerçevelerinin tanımlanan dinamik dinamik hesap yüklerine göre statik analizlerinin yapılması.*
13. *Hesap çerçeveleri modellerinin zemin altı kısımlarına ait kat ağırlıklarının denklem 2.13 ve denklem 2.14 ile hesaplanması.*
14. *Hesap çerçeveleri modellerinin zemin altı kısımlarındaki her bir bodrum kat döşemesi seviyesinde etkiyecek olan yatay deprem yüklerinin $F_i = A_0 I w_{bk} / 1.5$ formülüne göre hesaplanması.*
15. *Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilen hesap çerçeveleri modellerinin zemin altı kısımlarının geometrik özellikleri gözönüne alınarak sadece bodrum katları kapsayan düzlem çerçeve modellerinin oluşturulması.*
16. *Analizlerde kullanılacak malzeme özellikleri parametrelerinin tanımlanması.* Bu çalışmada Elastisite modülü : 28500000 kN/m² ve Poisson oranı : 0.20 olarak seçilmiştir.
17. *Sadece bodrum katları içeren düzlem çerçeve hesap modellerinde, çözümlemede kullanılacak taşıyıcı sistem elemanları tiplerinin, en kesit boyutlarının tanımlanması ve ilgili elemanlara atanması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm düzlem çerçeve modellerindeki taşıyıcı sistem elemanları çubuk elemanlar olarak seçilmiştir.
18. *Sadece bodrum katları içeren düzlem çerçeve hesap modellerinde mesnet şartlarının tanımlanması.* Bu çalışmada çözümlemeleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin en alt kolonlarının temele tam ankastre olarak bağlı olduğu kabul edilmiştir.

19. *Sadece bodrum katları içeren düzlem çerçeve hesap modellerinde, kat hizalarındaki düğüm noktalarına rijit diyafram tanımı yapılması.* Bu çalışmada analizleri yapılan tüm hesap çerçevelerinin kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir.
20. *Sadece bodrum katları içeren düzlem çerçeve hesap modellerinde madde 14'te hesaplanmış olan eşdeğer yatay deprem yüklerinin ilgili kat seviyelerinde tanımlanması.*
21. *Sadece bodrum katları içeren düzlem çerçeve hesap modellerinin tanımlanan dinamik eşdeğer hesap yüklerine göre statik çözümlemesinin yapılması.*
22. *Yönetmelik'te rijit bodrumlu yapılar için öngörülen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine (TDY) uygun olarak, bodrum katlardaki nihai dinamik hesap değerlerinin elde edilebilmesi için, madde 12'de yapılan statik çözümleme sonuçlarında bodrum katlarında elde edilen hesap sonuç değerleri ile madde 21'de yapılan statik analiz hesap sonuçlarının kareleri toplamının kare kökü yöntemi kullanılarak birleştirilmesi.*



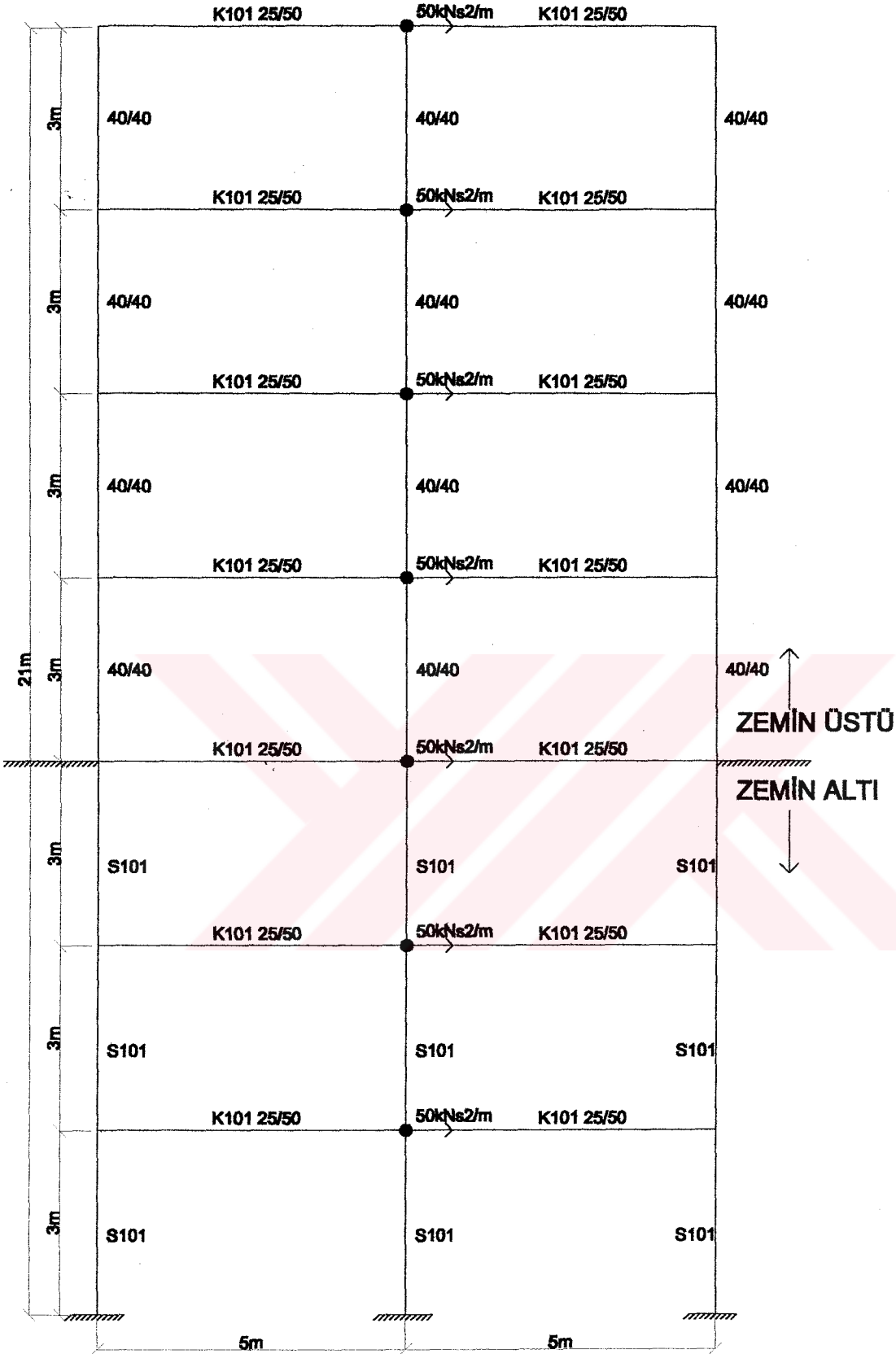
Şekil 3.1.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te Z4 Yerel Zemin Sınıfı İçin Verilen Tasarım Deprem Spektrumu

3.2 Düzlem Hesap Çerçeveleri Modellerinin Tanıtılması

Bu çalışmanın bu bölümünde, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte deprem etkisi altındaki yapıların taşıyıcı sistemlerinin boyutlandırılabilmesi amacıyla verilmiş olan Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemlerinin, bölüm 3.1'de verilen hesap kabulleri ile bilgisayar ortamında yapılan çözümlerinde kullanılan düzlem hesap çerçeveleri modelleri tanıtılmıştır. Çalışmadan amaçlanan, yönetmelikte verilen dinamik hesap yöntemleri bağlamında rijit ve yarı rijit bodrumlu yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının irdelenmesi olduğundan, Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilen düzlem çerçeve hesap modellerinde tek değişken, hesap çerçevelerinin zemin altı bölgelerinde bulunan kolonların en kesit boyutlarıdır. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te S101 simgesi ile belirtilen bodrum kat kolonları için bu çalışmada onaltı değişken en kesit boyutu öngörülerek, çözümlere esas olan iki boyutlu çerçeve modellerinin bodrum kat bölgelerinde amaçlanan eğilme rijitliği değişkenliği sağlanmıştır. Hesap modellerinde S101 simgesiyle verilmiş olan toplam onaltı adet zemin altı bölgesi kolon en kesit boyutları b kolonların çerçeve düzlemine dik en kesiti boyutunu, h kolonların çerçeve düzlemine paralel boyutunu ve I 40x40 cm en kesit boyutlarına sahip kolonun atalet momentinin birim değer olarak kabul edilmesi durumunda diğer en kesit boyutlarındaki kolonların atalet momentleri değerlerini relatif olarak veren relatif eğilme rijitliğini ifade etmek üzere aşağıda verildiği gibidir.

1. $b = 40\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 1$
2. $b = 80\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 2$
3. $b = 160\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 4$
4. $b = 240\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 6$
5. $b = 320\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 8$
6. $b = 640\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 16$
7. $b = 1080\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 27$
8. $b = 2400\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 64$
9. $b = 5000\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 125$
10. $b = 8640\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 216$
11. $b = 13720\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 343$
12. $b = 20480\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 512$
13. $b = 29160\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 729$
14. $b = 29160\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 1000$
15. $b = 53240\text{cm}$ $h = 40\text{cm}$ $I = 1331$
16. $b = \infty$ $h = 40\text{cm}$ $I = \infty$

3.2.1 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli

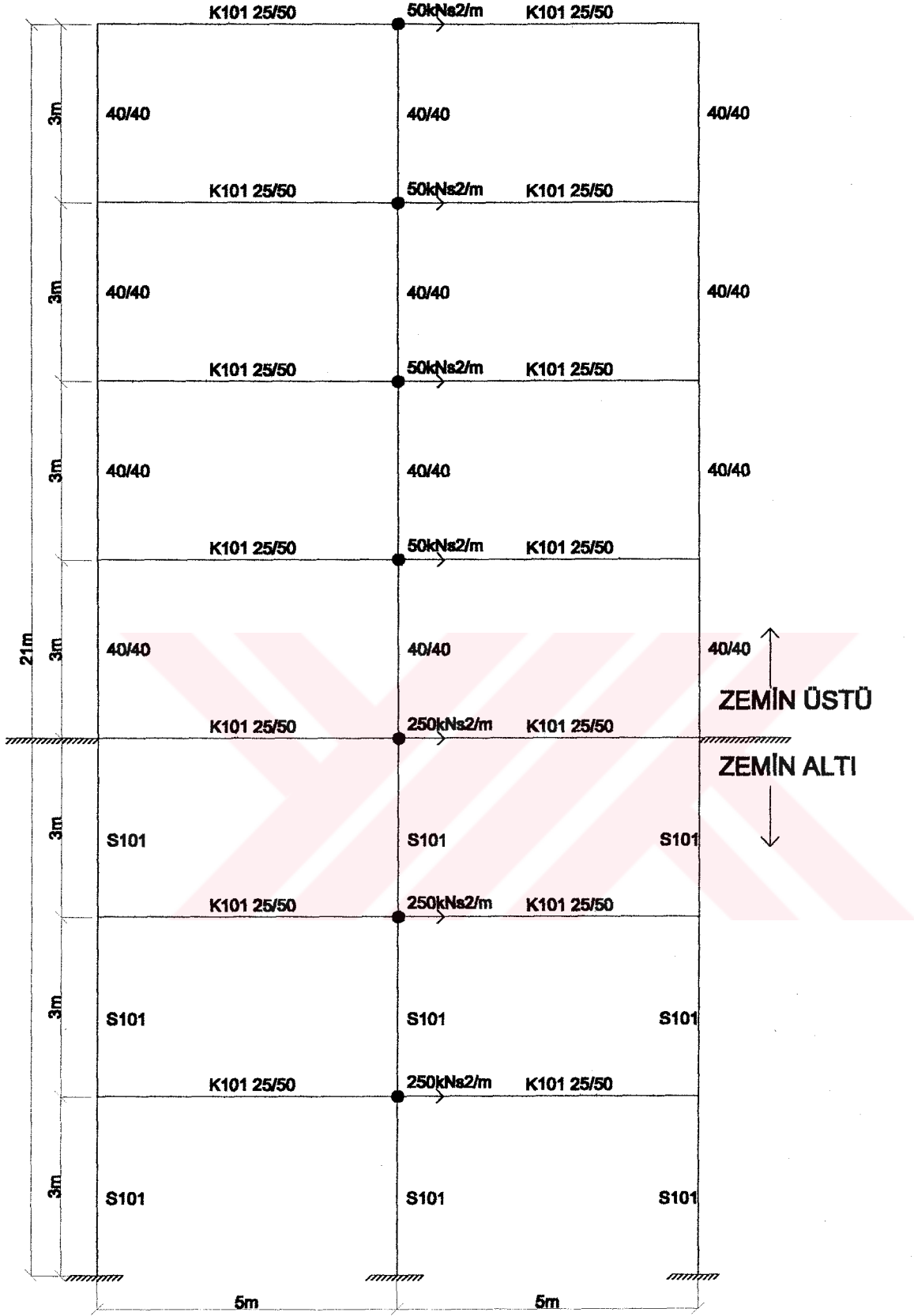


Zemin Üstü Kat Kütleleri : 50 kN/m²
 Zemin Altı Kat Kütleleri : 50 kN/m²
 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) : 0.40
 Spek. Karakteristik Periyotları (T_A - T_B) : 0.20 - 0.90
 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8
 Malz. Elastisite Modülü (E_c) : 28500000 kN/m²
 Malzeme Poisson Oranı : 0.20

Zemin Üstü Kat Adedi : 4
 Zemin Altı Kat Adedi : 3
 Kat Yükseklikleri : 3m
 Çerçeve Açıklığı : 5m
 Çerçeve Kiriş Boyutları : 25/50 cm
 Zemin Üstü Kolon Boyutları : 40/40 cm
 Zemin Altı Kolon Boyutları : Değişken

Şekil 3.1 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli

3.2.2 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli

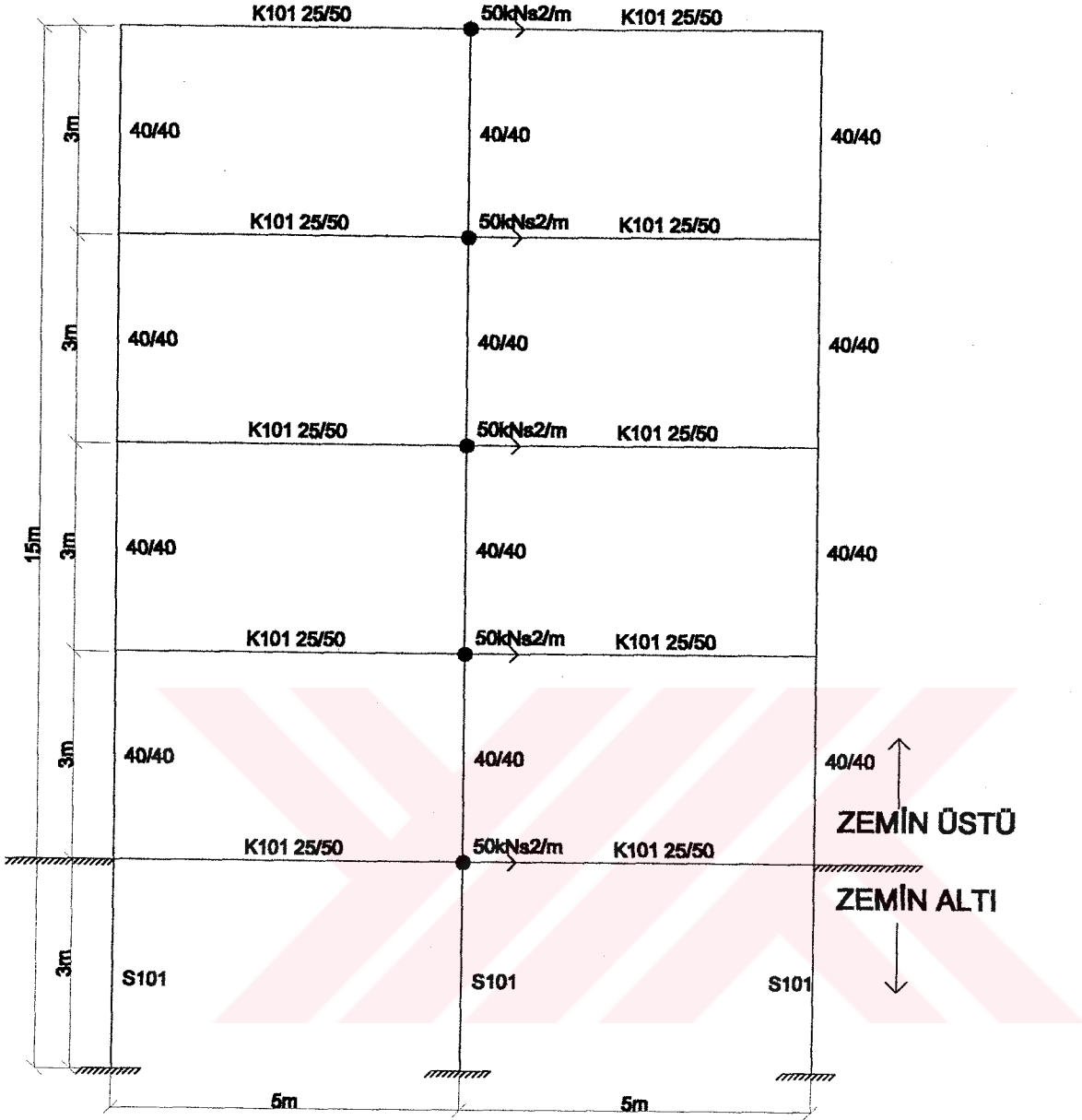


Zemin Üstü Kat Kütleleri : 50 kN/m²
 Zemin Altı Kat Kütleleri : 250 kN/m²
 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) : 0.40
 Spek. Karakteristik Periyotları (T_A - T_B) : 0.20 - 0.90
 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8
 Malz. Elastisite Modülü (E_c) : 28500000 kN/m²
 Malzeme Poisson Oranı: 0.20

Zemin Üstü Kat Adedi : 4
 Zemin Altı Kat Adedi : 3
 Kat Yükseklikleri : 3m
 Çerçeve Açıklığı : 5m
 Çerçeve Kiriş Boyutları : 25/50 cm
 Zemin Üstü Kolon Boyutları : 40/40 cm
 Zemin Altı Kolon Boyutları : Değişken

Şekil 3.2 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli

3.2.3 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli



Zemin Üstü Kat Adedi : 4
 Zemin Altı Kat Adedi : 1
 Kat Yükseklikleri : 3m
 Çerçeve Açıklığı : 5m
 Çerçeve Kiriş Boyutları : 25/50 cm
 Zemin Üstü Kolon Boyutları : 40/40 cm
 Zemin Altı Kolon Boyutları : Değişken
 Zemin Üstü Kat Kütleleri : 50 kN/m²
 Zemin Altı Kat Kütleleri : 50 kN/m²
 Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) : 0.40
 Spek. Karakteristik Periyotları (TA-TB) : 0.20 - 0.90
 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8
 Malz. Elastisite Modülü (E_c) : 28500000 kN/m²
 Malzeme Poisson Oranı : 0.20

Şekil 3.3 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli

4. ANALİZLERDE KULLANILAN DÜZLEM HESAP ÇERÇEVELERİ ANALİZ SONUÇLARI

Çalışmanın bu bölümünde, Bölüm 3'te verilmiş her bir düzlem çerçeve hesap modeli için Bölüm 2'de tanımlanan dinamik hesap yöntemleri kullanılarak, bilgisayar ortamında SAP 2000 hesap yazılımıyla, deprem hesapları yapılmıştır. Bu tezin 3. Bölümü'nde açıklandığı gibi, her bir düzlem hesap çerçevesi modeli için onaltı değişik bodrum kat en kesit boyutu, üç adet düzlem hesap çerçevesi modeli ve üç değişik deprem hesap yöntemi öngörülmüş olduğundan, toplam $16 \times 3 \times 3 = 144$ adet dinamik hesap yapılmıştır. Yapılan dinamik çözümleme sayısının çok fazla olması ve elde edilen hesap sonuç değerlerin birbirleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmeleri amacıyla, dinamik analiz hesap sonuçlarının çizelgeler ve bu hesap sonuçlarını içeren grafikler aracılığıyla verilmesi yolu seçilmiştir. Bu hesap sonuç çizelge ve grafiklerinin hazırlanmasında izlenen yol ile verilen bu hesap sonuç değerlerinin anlaşılabilmesi için gerekli açıklamalar, Bölüm 4.1, Bölüm 4.2, Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.4'te verilmiştir.

4.1 Mod Birleştirme Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri

Burada ; Bölüm 3' te verilen her bir düzlem çerçeve hesap modeline bilgisayar ortamında mod birleştirme yöntemi uygulanarak, toplam $3 \times 16 = 48$ adet deprem analizi yapılmıştır. Elde edilen hesap sonuç değerleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu hesap çizelgelerinde, çizelgelerin üst bölümlerindeki 40 / 40'tan başlayan ve sonsuza giden değerler çalışmada öngörülen bodrum kat kolon en kesit boyutları, çizelgelerin alt kısımlarında bulunan 1'den sonsuza kadar değişen değerler 40x40 cm en kesit boyutuna sahip kolonun atalet momentinin birim değer olarak kabul edilmesi durumunda diğer en kesit boyutlarındaki kolonların relatif atalet momenti değerlerini göstermektedir. Bu çalışmada, ele alınan düzlem hesap çerçevelerinin bodrum katlarındaki toplam eğilme rijitliği değerlerini değiştirebilecek başka bir parametre bulunmadığından, bu relatif atalet momenti değerleri düzlem hesap çerçevelerinin bodrum katlarına ait relatif eğilme rijitliklerini de ifade etmektedirler. Bu çalışmada ele alınan her bir düzlem hesap çerçevesinin üç ayrı bölgesindeki hesap sonuç değerleri dikkate alınmıştır. İncelenen bu bölgeler ; "taban" kısaltmasıyla isimlendirilen hesap çerçevelerinin temele tam ankastre olarak bağlandıkları bölge, "Zemin" kısaltmasıyla adlandırılan zemin kat kolonlarının zemin kat döşemesine bağlandıkları bölge ve "Son" kısaltmasıyla simgelenen hesap çerçevelerinin son kat kolonlarının çatı döşemesinin bir altındaki kat döşemesine bağlandıkları bölge olarak ele alınmış ; hesap çizelgelerinde düzlem çerçevelerin üç ayrı seviyesindeki kolon toplam eğilme momenti ve toplam kat kesme kuvveti sonuç değerleri verilmiştir.

Hesap çizelgelerindeki M_t ve V_t simgeleri sırasıyla ilgili kat seviyelerindeki toplam kat eğilme momenti ve toplam kat kesme kuvveti değerlerini ifade etmektedirler. Bu çalışmada ele alınan düzlem hesap çerçeveleri modellerinde, katların ağırlık merkezleri ile rijitlik merkezlerinin üstü üste çakışmaları kabul edilerek analizlerde dış merkezlik etkisi dikkate alınmadığından, bahsi geçen tüm moment ifadeleri düzlem hesap çerçevelerinin ilgili kat kolonlarının eğilme moment değerleri anlamındadır. Hesap çizelgelerinde ayrıca, T1 düzlem çerçevelerin birinci doğal titreşim periyodu değerini göstermek üzere, düzlem çerçeve hesap modellerinin mod birleştirme yöntemiyle yapılan dinamik hesaplarından elde edilen düzlem çerçeve doğal titreşim periyot değerleri de verilmiştir. Böylece düzlem hesap çerçevelerinin mod birleştirme yöntemiyle yapılan dinamik analizlerinde gözönüne alınan mod sayısı da belirtilmiş olmaktadır.

Her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin mod birleştirme yöntemi kullanılarak elde edilmiş hesap sonuç değerleri (M_t , V_t) ile çalışmada ele alınan diğer tüm düzlem hesap çerçevesi analiz hesap sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanabilmesi için, tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin tüm hesap yöntemleri ile çözümlenmelerinden elde edilen hesap sonuç değerleri normalize edilmişlerdir. Bu normalizasyon ; düzlem çerçeve hesap modellerinin dinamik analizleriyle hesaplanan M_t (Kat Toplam Eğilme Momenti Değeri) ve V_t (Kat Toplam Kesme Kuvveti Değeri) hesap sonuç değerlerinin , buldukları bölgenin üst kısımlarındaki kat kütlelerinin toplamına bölünmeleri şeklinde yapılmıştır. Bu bağlamda, elde edilmiş normalize hesap değerleri kullanılarak Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6' da verilen hesap sonuç grafikleri hazırlanmıştır. Bu aşamada, hesap sonuçların birbirleriyle kıyaslanabilmeleri için yapılmış olan bu normalizasyonun daha iyi anlaşılabilmesi için, sayısal bir örnek verilecektir. 3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t düzlem hesap çerçevesi modelinin Mod Birleştirme Yöntemi'yle yapılmış olan dinamik hesap sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu hesap çizelgesinin 4. sütununda bodrum kat en kesit boyutu 240/40 ve bu boyuta karşılık gelen relatif eğilme rijitliği 6.0 olarak verilmiştir. Hesap çizelgesinde verildiği üzere, bu hesap çerçevesinin modal analiz hesap sonuç değerleri olan toplam taban kesme kuvveti (Taban) $V_t = 658.76$ kN, toplam zemin kat kesme kuvveti (Zemin) $V_t = 299.84$ kN ve toplam son kat kesme kuvveti (Son) $V_t = 105.64$ kN olarak hesap edilmiştir. Şekil 3.2'de verilen düzlem hesap çerçevesi modeli incelendiğinde, bu hesap çerçevesinin temel seviyesi üzerinde üçü bodrum kat kütlesi (her birinin kütlesi $250 \text{ kNs}^2/\text{m}$) olmak üzere toplam 7 adet kat kütlesi bulunmaktadır. Ayrıca zemin kat seviyesi üzerinde her biri $50 \text{ kNs}^2/\text{m}$ kütlelerine sahip toplam 4 adet ve son kat seviyesi üzerinde ise sadece bir kat kütlesi bulunduğu görülecektir.

Böylece bahsi geçen bölümlerdeki hesap toplam kat kesme kuvvetlerinin normalize edilen değerleri $V_t(\text{Taban}) = 658.76 / (3 \times 250 + 4 \times 50) = 0.693$, $V_t(\text{Zemin}) = 299.84 / (4 \times 50) = 1.499$ ve $V_t(\text{Son}) = 105.64 / 50 = 2.113$ olarak elde edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ile elde edilen toplam kat eğilme momenti değerleri de aynı şekilde hesaplanarak normalize edilmişlerdir.

Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanabilmesi amacıyla hazırlanan hesap sonuç grafiklerinde bu normalize edilmiş hesap sonuç değerleri kullanılmıştır. Bu grafiklerde M / m simgesi normalize edilmiş toplam kat eğilme momenti değerlerini, V / m normalize edilmiş toplam kat kesme kuvveti değerlerini ve I hesap çerçevelerinin zemin altı bölgelerinin relatif eğilme rijitliği değerlerini göstermektedirler.

Çizelge 4.1 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

Modal Analiz (3 Bodrum) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞
Taban																
Mt (kNm)	531,98	649,54	820,29	958,19	1075,02	1427,55	1743,09	2110,96	2274,39	2315,16	2323,69	2330,07	2334,30	2335,57	2335,15	2313,26
Vt (kN)	269,25	279,00	283,34	285,42	286,46	288,83	289,87	275,26	255,14	241,43	232,96	229,07	226,82	225,07	223,64	215,54
Zemin																
Mt (kNm)	294,34	316,12	333,64	345,33	354,46	382,29	407,89	425,94	425,94	421,99	418,02	414,80	412,35	410,62	409,38	405,29
Vt (kN)	207,63	220,89	229,62	234,27	237,18	244,35	249,62	244,03	232,98	225,49	220,38	216,86	214,44	212,79	211,65	208,02
Son																
Mt (kNm)	74,14	80,78	85,79	88,45	90,22	95,06	99,49	103,14	103,46	101,64	98,93	96,72	95,31	94,41	93,83	92,06
Vt (kN)	66,97	72,64	76,83	79,08	80,58	84,65	88,26	90,31	89,45	87,73	85,91	84,59	83,72	83,15	82,76	81,58
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Modal Analiz (3 Bodrum) Periyotlar

	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
T1	1,2838	1,1722	1,0974	1,0608	1,0357	0,9735	0,9240	0,8511	0,7987	0,7720	0,7566	0,7474	0,7415	0,7377	0,7351	0,7271
T2	0,4143	0,3858	0,3630	0,3514	0,3436	0,3249	0,3095	0,2830	0,2601	0,2476	0,2405	0,2364	0,2339	0,2323	0,2312	0,2280
T3	0,2346	0,2182	0,2048	0,1978	0,1933	0,1837	0,1772	0,1661	0,1527	0,1426	0,1363	0,1328	0,1308	0,1296	0,1288	0,1267
T4	0,1586	0,1439	0,1342	0,1296	0,1267	0,1205	0,1169	0,1123	0,1069	0,1009	0,0958	0,0931	0,0918	0,0911	0,0907	0,0898
T5	0,1181	0,1062	0,0974	0,0944	0,0928	0,0902	0,0887	0,0869	0,0851	0,0822	0,0768	0,0691	0,0611	0,0539	0,0477	0,0012
T6	0,0954	0,0876	0,0807	0,0747	0,0698	0,0573	0,0476	0,0343	0,0246	0,0190	0,0152	0,0125	0,0105	0,0090	0,0078	0,0002
T7	0,0836	0,0662	0,0492	0,0410	0,0360	0,0260	0,0203	0,0137	0,0095	0,0073	0,0058	0,0047	0,0040	0,0034	0,0029	0,0001
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Modal Analiz Normalizasyon (3 Bodrum)

	40/40	80/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞
Taban																
Mt (kNm)	1,520	1,856	2,344	2,738	3,071	4,079	4,980	6,031	6,498	6,615	6,639	6,657	6,669	6,673	6,672	6,609
Vt (kN)	0,769	0,797	0,810	0,815	0,818	0,825	0,828	0,786	0,729	0,690	0,666	0,654	0,648	0,643	0,639	0,616
Zemin																
Mt (kNm)	1,472	1,581	1,668	1,727	1,772	1,911	2,039	2,130	2,130	2,110	2,090	2,074	2,062	2,053	2,047	2,026
Vt (kN)	1,038	1,104	1,148	1,171	1,186	1,222	1,248	1,220	1,165	1,127	1,102	1,084	1,072	1,064	1,058	1,040
Son																
Mt (kNm)	1,483	1,616	1,716	1,769	1,804	1,901	1,990	2,063	2,069	2,033	1,979	1,934	1,906	1,888	1,877	1,841
Vt (kN)	1,339	1,453	1,537	1,582	1,612	1,693	1,765	1,806	1,789	1,755	1,718	1,692	1,674	1,663	1,655	1,632
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Çizelge 4.2 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

Modal Analiz (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm																	
I	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	1180,93	1451,41	1810,54	2078,06	2301,88	2947,08	3496,24	4196,08	4465,63	4412,93	4126,23	4093,65	3932,21	3516,63	3487,55	3065,53
	Vt (kN)	608,09	641,82	655,89	658,76	660,60	660,36	657,17	643,24	615,34	573,02	521,08	515,97	485,59	422,04	421,76	352,72
Zemin	Mt (kNm)	316,92	356,26	396,48	419,82	437,51	487,38	530,03	564,49	522,95	495,23	479,24	457,44	441,64	434,35	427,41	405,30
	Vt (kN)	237,98	265,74	289,17	299,84	306,75	322,04	331,09	325,25	287,23	267,13	254,85	240,30	230,87	226,72	222,03	208,02
Son	Mt (kNm)	86,64	99,75	114,23	119,89	122,91	131,59	137,36	142,25	141,94	149,16	152,65	140,80	132,96	129,76	118,90	92,06
	Vt (kN)	78,72	89,76	100,90	105,64	108,49	115,94	121,50	126,20	122,36	123,31	122,20	112,08	104,93	101,20	95,04	81,58
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
Modal Analiz (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t) Periyotlar																	
T1		1,6039	1,4095	1,2757	1,2112	1,1681	1,0662	0,9890	0,8810	0,8097	0,7765	0,7586	0,7483	0,7420	0,7380	0,7353	0,7271
T2		0,6580	0,6118	0,5708	0,5480	0,5321	0,4944	0,4636	0,4049	0,3374	0,2882	0,2576	0,2431	0,2368	0,2337	0,2319	0,2280
T3		0,3630	0,3039	0,2641	0,2484	0,2402	0,2275	0,2220	0,2165	0,2113	0,2037	0,1896	0,1701	0,1515	0,1385	0,1323	0,1267
T4		0,2363	0,2151	0,1970	0,1833	0,1722	0,1447	0,1318	0,1263	0,1248	0,1241	0,1234	0,1223	0,1201	0,1150	0,1064	0,0898
T5		0,2001	0,1548	0,1283	0,1248	0,1230	0,1172	0,1060	0,0908	0,0897	0,0894	0,0893	0,0892	0,0890	0,0888	0,0883	0,0026
T6		0,1276	0,1244	0,1091	0,0941	0,0904	0,0890	0,0881	0,0757	0,0549	0,0424	0,0339	0,0279	0,0234	0,0200	0,0174	0,0004
T7		0,0906	0,0901	0,0892	0,0871	0,0796	0,0581	0,0453	0,0307	0,0213	0,0163	0,0129	0,0106	0,0089	0,0076	0,0066	0,0002
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
Modal Analiz Normalizasyon (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t)																	
I	40/40	40/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	1,243	1,528	1,906	2,187	2,423	3,102	3,680	4,417	4,701	4,645	4,343	4,309	4,139	3,702	3,671	3,227
	Vt (kN)	0,640	0,676	0,690	0,693	0,695	0,692	0,677	0,648	0,603	0,549	0,543	0,511	0,444	0,444	0,444	0,371
Zemin	Mt (kNm)	1,585	1,781	1,982	2,099	2,188	2,437	2,650	2,822	2,615	2,476	2,396	2,287	2,208	2,172	2,137	2,027
	Vt (kN)	1,190	1,329	1,446	1,499	1,534	1,610	1,655	1,626	1,436	1,336	1,274	1,202	1,154	1,134	1,110	1,040
Son	Mt (kNm)	1,733	1,995	2,285	2,398	2,458	2,632	2,747	2,845	2,839	2,983	3,053	2,816	2,659	2,595	2,378	1,841
	Vt (kN)	1,574	1,795	2,018	2,113	2,170	2,319	2,430	2,524	2,447	2,466	2,444	2,242	2,099	2,024	1,901	1,632
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Çizelge 4.3 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş

Değerler

Modal Analiz (Tek Bodrum) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

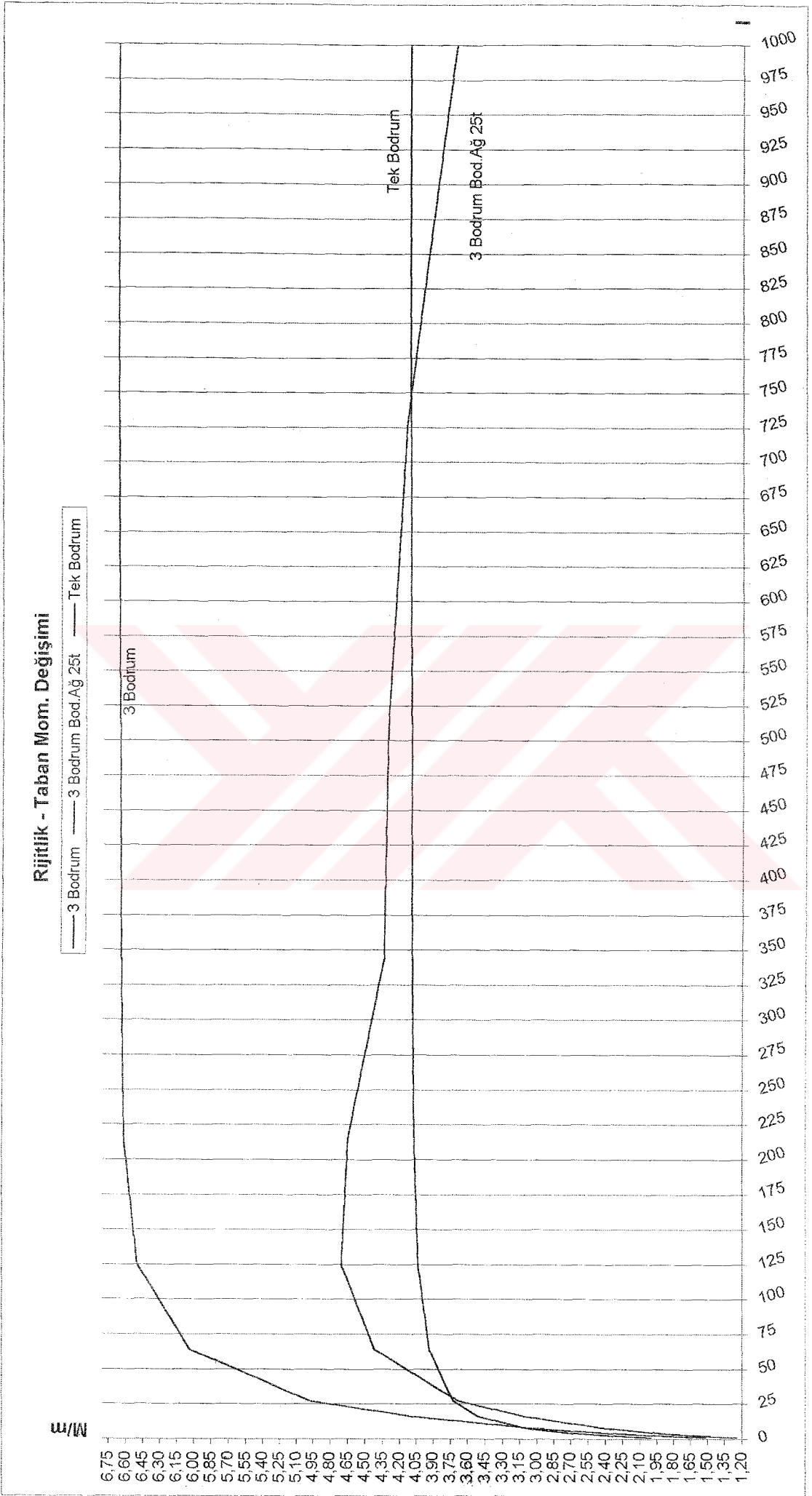
	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	500,07	570,13	667,26	732,27	778,31	876,32	931,18	983,59	1008,36	1018,34	1023,46	1026,34	1028,07	1029,17	1029,90	1031,91
	Vt (kN)	254,81	247,27	238,88	234,27	231,11	224,11	219,78	215,08	212,55	211,41	210,78	210,40	210,17	210,02	209,90	209,46
Zemin	Mt (kNm)	360,12	369,27	378,74	384,83	388,92	396,74	400,45	403,34	404,45	404,83	405,00	405,11	405,16	405,20	405,22	405,29
	Vt (kN)	238,44	235,00	229,72	226,60	224,35	219,17	215,80	212,12	210,14	209,28	208,82	208,55	208,40	208,30	208,23	208,02
Son	Mt (kNm)	91,13	92,95	93,35	93,45	93,48	93,35	93,11	92,69	92,41	92,27	92,19	92,15	92,13	92,11	92,10	92,06
	Vt (kN)	82,22	83,29	83,31	83,24	83,16	82,86	82,56	82,14	81,89	81,77	81,70	81,66	81,65	81,62	81,61	81,58
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Modal Analiz (Tek Bodrum) Periyotlar

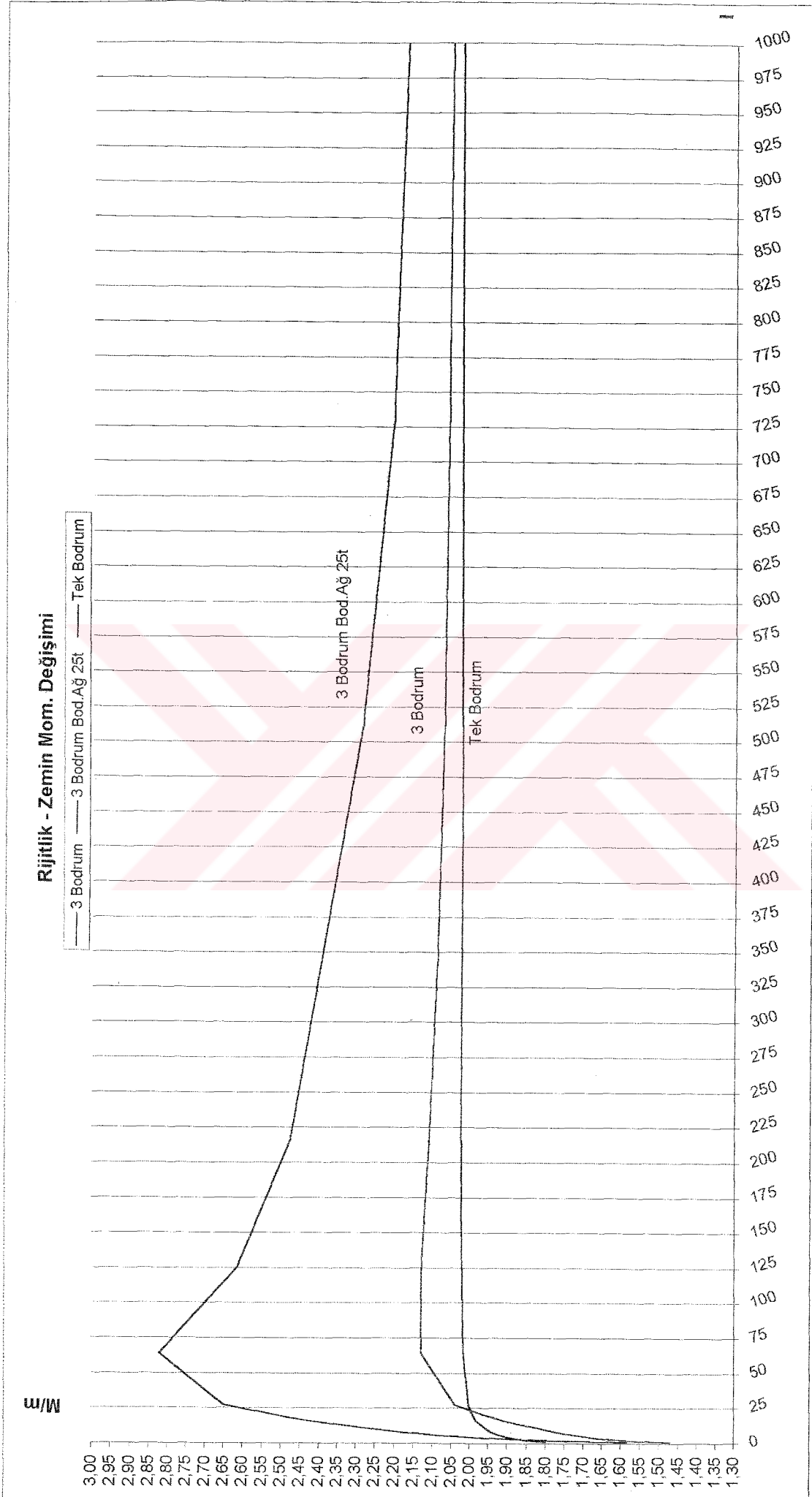
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	
T1		0,9109	0,8641	0,8276	0,8087	0,7963	0,7706	0,7560	0,7416	0,7344	0,7298	0,7289	0,7284	0,7280	0,7278	0,7271	
T2		0,2894	0,2740	0,2624	0,2563	0,2522	0,2435	0,2384	0,2333	0,2306	0,2290	0,2287	0,2285	0,2283	0,2282	0,2280	
T3		0,1615	0,1519	0,1453	0,1421	0,1399	0,1354	0,1326	0,1297	0,1282	0,1273	0,1271	0,1270	0,1269	0,1268	0,1267	
T4		0,1097	0,1025	0,0977	0,0960	0,0950	0,0931	0,0920	0,0909	0,0904	0,0901	0,0900	0,0899	0,0899	0,0899	0,0898	
T5		0,0866	0,0824	0,0753	0,0703	0,0665	0,0566	0,0485	0,0363	0,0266	0,0207	0,0166	0,0137	0,0115	0,0099	0,0086	0,0002
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Modal Analiz Normalizasyon (Tek Bodrum)

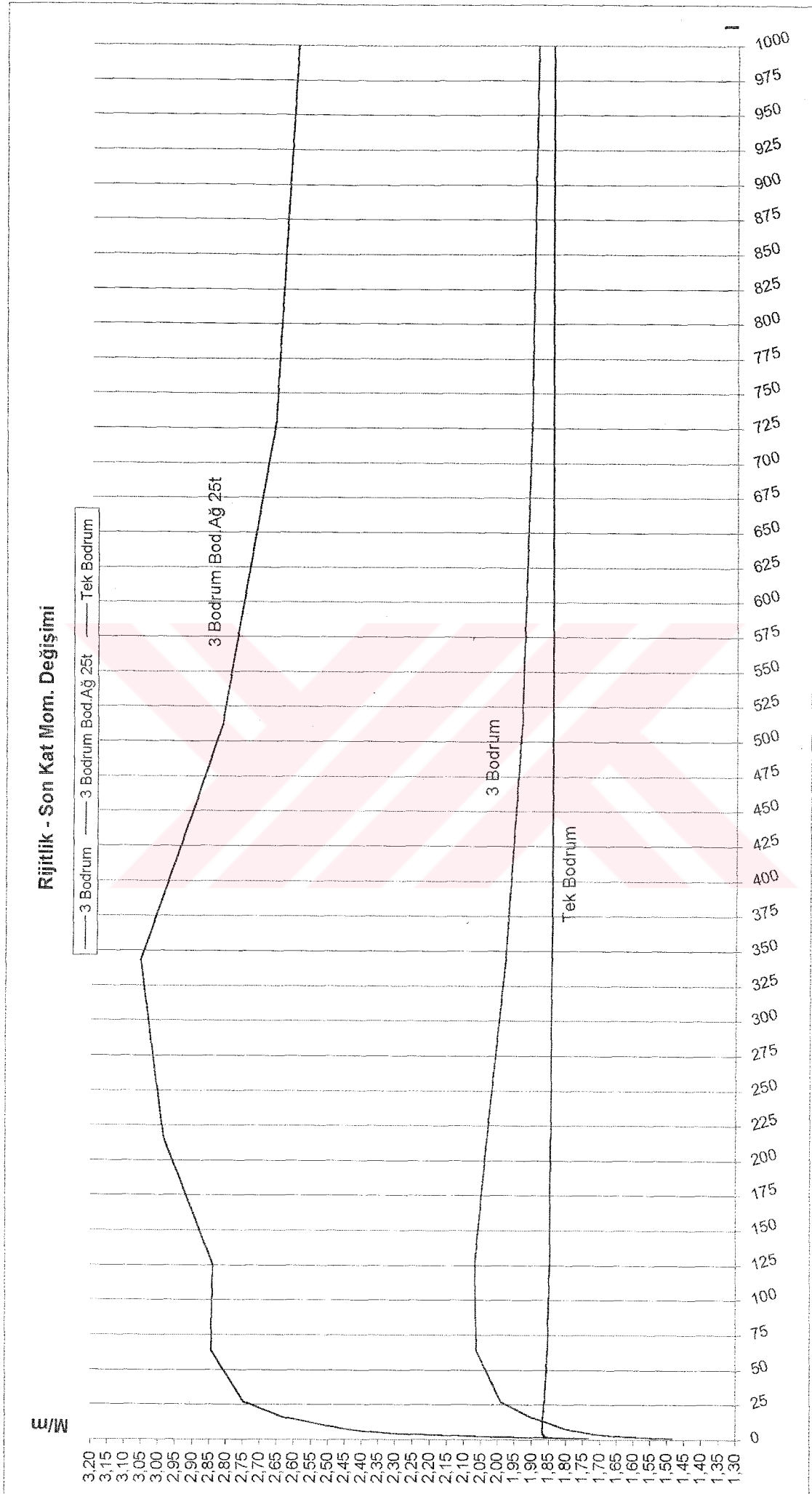
	40/40	80/80	160/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	2,000	2,281	2,669	2,929	3,113	3,505	3,725	3,934	4,033	4,073	4,094	4,105	4,112	4,117	4,120	4,128
	Vt (kN)	1,019	0,989	0,956	0,937	0,924	0,896	0,879	0,860	0,850	0,846	0,843	0,842	0,841	0,840	0,840	0,838
Zemin	Mt (kNm)	1,801	1,846	1,894	1,924	1,945	1,984	2,002	2,017	2,022	2,024	2,025	2,026	2,026	2,026	2,026	2,026
	Vt (kN)	1,192	1,175	1,149	1,133	1,122	1,096	1,079	1,061	1,051	1,046	1,044	1,043	1,042	1,042	1,041	1,040
Son	Mt (kNm)	1,823	1,859	1,867	1,869	1,870	1,867	1,862	1,854	1,848	1,845	1,844	1,843	1,843	1,842	1,842	1,841
	Vt (kN)	1,644	1,666	1,666	1,665	1,663	1,657	1,651	1,643	1,638	1,635	1,634	1,633	1,633	1,632	1,632	1,632
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	64,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞



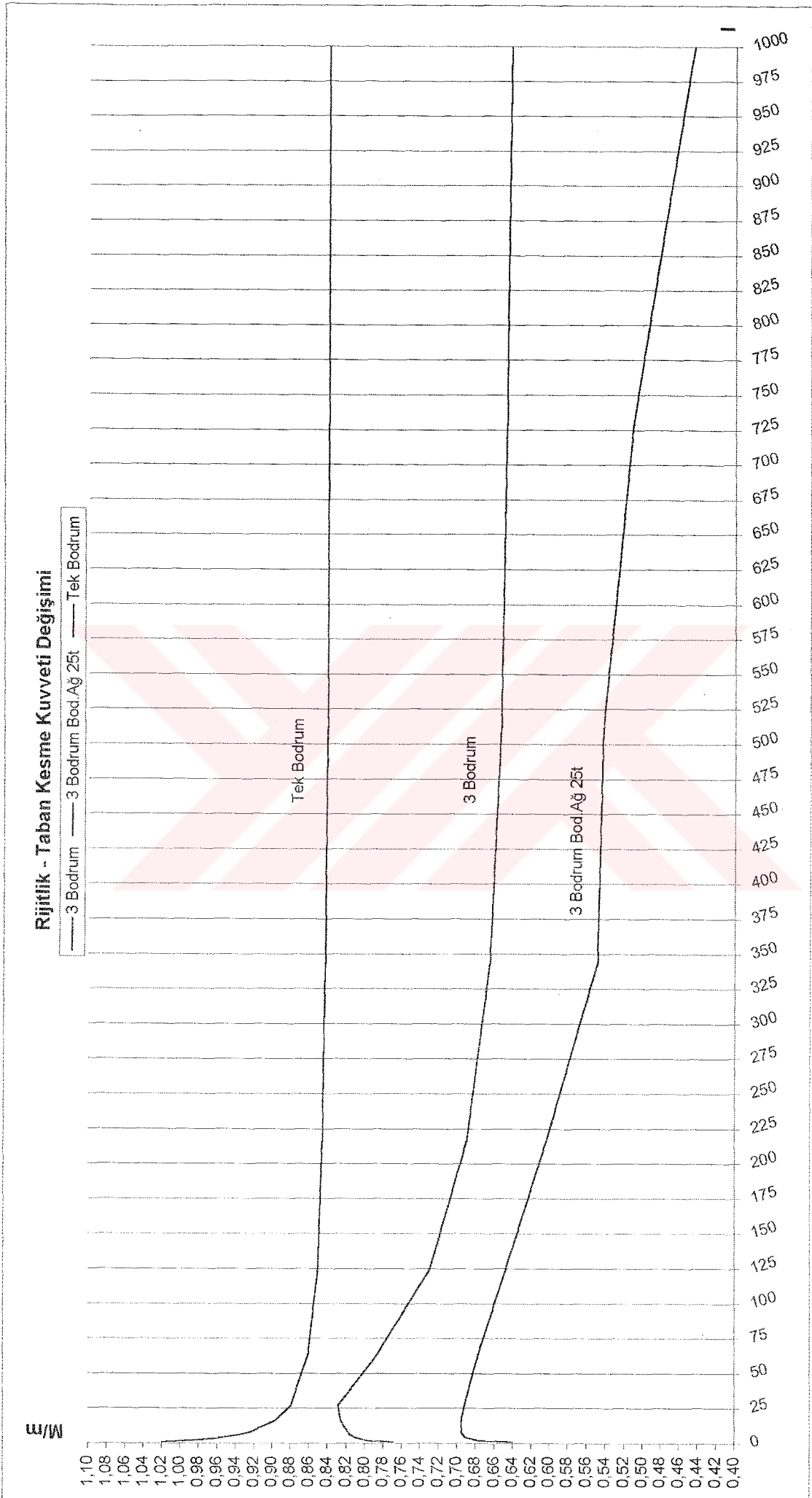
Şekil 4.1 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği



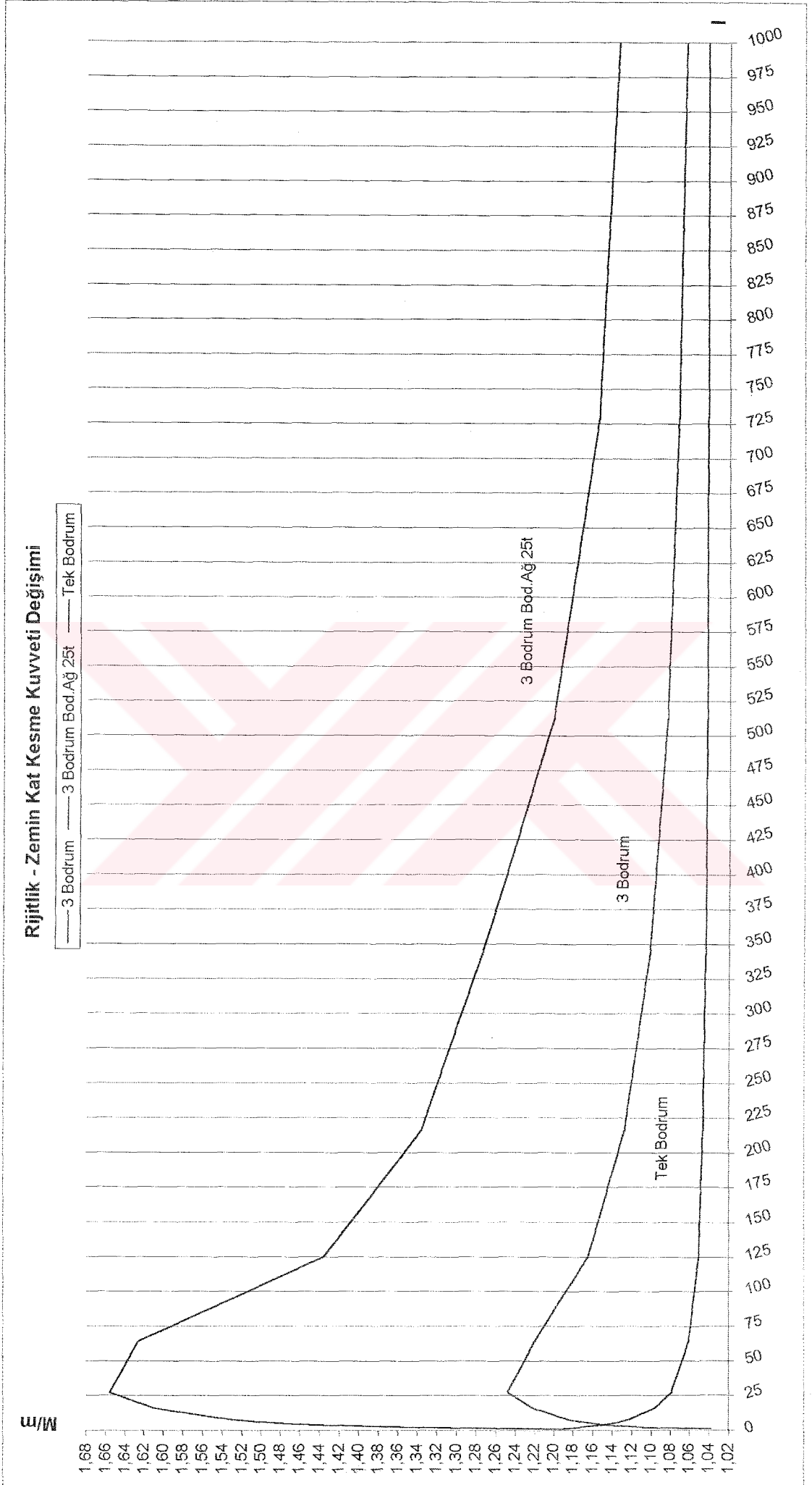
Şekil 4.2 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



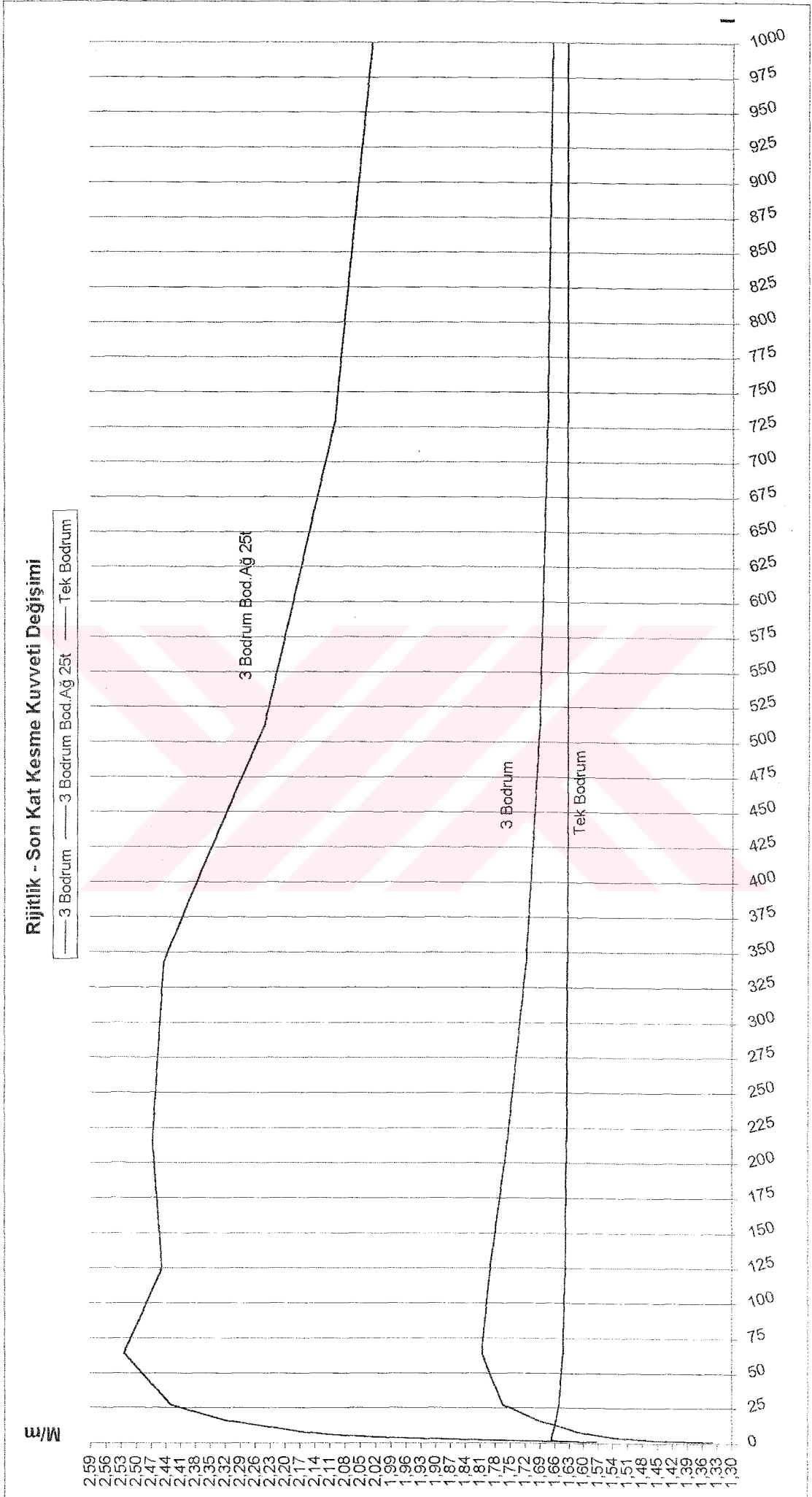
Şekil 4.3 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



Şekil 4.4 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafığı



Şekil 4.5 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiki



Şekil 4.6 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği

4.2 Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri

Burada ; Bölüm 3' te verilen her bir düzlem çerçeve hesap modeline eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemi uygulanarak toplam $3 \times 16 = 48$ adet deprem analizi yapılmıştır. Elde edilen hesap sonuç değerleri Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bu hesap çizelgelerinde kullanılan simgeler çalışmanın 4.1 bölümünde açıklanan Mod Birleştirme Yöntemi hesap sonuç çizelgelerinde kullanılan simgelerin aynısıdır, EDY Yöntemiyle yapılan deprem analizleri esas alınarak hazırlanmış olan hesap sonuç çizelge ve grafiklerinde düzlem hesap çerçevelerinin üç ayrı bölgesinde (Taban, Zemin, Son) elde edilen toplam kat eğilme momenti ve toplam kat kesme kuvveti değerleri incelenmiştir.

Bu bölümde ele alınan düzlem hesap çerçeveleri modellerinde bahsi geçen tüm moment ifadeleri, bu hesap çerçevelerinin ilgili bölümlerine ait kolonlarının toplam eğilme momenti değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca T1 düzlem çerçevelerin birinci doğal titreşim periyodu değeridir. Düzlem çerçeve hesap modellerinin eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemiyle yapılan dinamik hesaplarında tekrar birinci doğal titreşim periyodu hesaplanmamış, modal analiz yönteminde elde edilen düzlem çerçeve birinci doğal titreşim periyodu değeri esas alınmıştır.

Her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemi kullanılarak elde edilmiş hesap sonuç değerleri (M_t , V_t) ile çalışmada ele alınan diğer tüm düzlem hesap çerçevesi analiz hesap sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanabilmesi için, tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin tüm hesap yöntemleri ile çözümlenmelerinden elde edilen hesap sonuç değerleri normalize edilmişlerdir. Bu normalizasyon bir önceki bölümde açıklandığı gibidir. Örnek olarak ; 3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t düzlem hesap çerçevesi modelinin eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemi'yle yapılmış olan dinamik hesap sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Bu hesap çizelgesinin 4. sütununda bodrum kat en kesit boyutu 240/40 ve bu boyuta karşılık gelen relatif eğilme rijitliği 6.0 olarak verilmiştir. Hesap çizelgesinde verildiği üzere, bu hesap çerçevesinin eşdeğer deprem yükü (EDY) hesap sonuç değerleri olan toplam taban kesme kuvveti (Taban) $V_t = 918.58$ kN, toplam zemin kat kesme kuvveti (Zemin) $V_t = 388.64$ kN ve toplam son kat kesme kuvveti (Son) $V_t = 118.63$ kN olarak hesap edilmiştir. Şekil 3.2'de verilen düzlem hesap çerçevesi modeli incelendiğinde, bu hesap çerçevesinin temel seviyesi üzerinde üçü bodrum kat kütlesi (her birinin kütlesi $250 \text{ kNs}^2/\text{m}$) olmak üzere toplam 7 adet kat kütlesi bulunmaktadır. Ayrıca zemin kat seviyesi üzerinde her biri $50 \text{ kNs}^2/\text{m}$ kütlesine sahip toplam 4 adet ve son kat seviyesi üzerinde ise sadece bir kat kütlesi bulunduğu görülecektir.

Böylece bahsi geçen bölümlerdeki hesap toplam kat kesme kuvvetlerinin normalize edilen değerleri $V_t(\text{Taban}) = 918.58 / (3 \times 250 + 4 \times 50) = 0.967$, $V_t(\text{Zemin}) = 388.64 / (4 \times 50) = 1.943$ ve $V_t(\text{Son}) = 118.63 / 50 = 2.473$ olarak elde edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ile elde edilen toplam kat eğilme momenti değerleri de aynı şekilde hesaplanarak normalize edilmişlerdir. Bu bağlamda, elde edilmiş normalize hesap değerleri kullanılarak Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12' de verilen hesap sonuç grafikleri hazırlanmıştır. Bu grafiklerin hazırlanmasında izlenen yol ve grafiklerde kullanılan simgeler bir önceki bölümde açıklandığı gibidir.



Çizelge 4.4 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

E.D.Y (3 Bodrum) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	639,00	808,80	1057,57	1256,86	1428,82	1962,72	2472,40	3184,56	3662,40	3908,04	4050,88	4137,27	4191,86	4227,75	4252,22	4328,37
	Vt (kN)	323,02	347,40	366,24	376,29	383,57	403,06	420,23	429,18	429,19	429,18	429,18	429,18	429,19	429,19	429,19	429,18
Zemin	Mt (kNm)	360,10	389,43	415,24	432,00	445,91	489,59	532,82	581,44	609,58	624,25	632,86	638,07	641,36	643,53	645,03	649,64
	Vt (kN)	253,81	272,97	287,75	295,66	301,39	316,68	330,20	337,22	337,23	337,22	337,22	337,22	337,23	337,23	337,23	337,22
Son	Mt (kNm)	87,04	93,61	98,69	101,41	103,37	108,67	113,37	115,87	115,94	115,99	116,00	116,02	116,02	116,04	116,04	116,05
	Vt (kN)	80,75	86,85	91,56	94,07	95,89	100,77	105,07	107,30	107,29	107,30	107,29	107,31	107,30	107,30	107,30	107,30
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

E.D.Y (3 Bodrum) Periyotlar

T1	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
	1,2838	1,1722	1,0974	1,0608	1,0357	0,9735	0,9240	0,8511	0,7987	0,7720	0,7566	0,7474	0,7415	0,7377	0,7351	0,7271

E.D.Y Normalizasyon (3 Bodrum)

	40/40	80/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	1,826	2,311	3,022	3,591	4,082	5,608	7,064	9,099	10,464	11,166	11,574	11,821	11,977	12,079	12,149	12,367
	Vt (kN)	0,923	0,993	1,046	1,075	1,096	1,152	1,201	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
Zemin	Mt (kNm)	1,801	1,947	2,076	2,160	2,230	2,448	2,664	2,907	3,048	3,121	3,164	3,190	3,207	3,218	3,225	3,248
	Vt (kN)	1,269	1,365	1,439	1,478	1,507	1,583	1,651	1,686	1,686	1,686	1,686	1,686	1,686	1,686	1,686	1,686
Son	Mt (kNm)	1,741	1,872	1,974	2,028	2,067	2,173	2,267	2,317	2,319	2,320	2,320	2,320	2,320	2,321	2,321	2,321
	Vt (kN)	1,615	1,737	1,831	1,881	1,918	2,015	2,101	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146	2,146
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

E.D.Y (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	1433,45	1852,50	2446,69	2910,66	3306,08	4525,92	5701,93	7597,26	8640,52	9175,54	9486,35	9674,29	9792,96	9871,01	9924,18	10089,63
	Vt (kN)	733,77	813,68	881,25	918,58	945,60	1017,22	1080,27	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94	1164,94
Zemin	Mt (kNm)	396,36	437,23	474,49	500,13	522,48	597,35	676,22	805,86	864,76	895,73	913,90	924,94	931,92	936,53	939,68	949,47
	Vt (kN)	310,44	344,24	372,83	388,64	400,07	430,36	457,03	492,87	492,86	492,86	492,86	492,86	492,87	492,86	492,85	492,85
Son	Mt (kNm)	106,37	117,94	127,71	133,12	137,05	147,50	156,76	169,24	169,39	169,47	169,52	169,53	169,57	169,57	169,58	169,60
	Vt (kN)	98,78	109,54	118,63	123,66	127,29	136,94	145,42	156,82	156,82	156,81	156,82	156,82	156,82	156,82	156,82	156,82
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

E.D.Y (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t) Periyotlar

T1	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0 <th>60,0 <th>125,0 <th>216,0 <th>343,0 <th>512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th></th></th></th></th></th>	60,0 <th>125,0 <th>216,0 <th>343,0 <th>512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th></th></th></th></th>	125,0 <th>216,0 <th>343,0 <th>512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th></th></th></th>	216,0 <th>343,0 <th>512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th></th></th>	343,0 <th>512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th></th>	512,0 <th>729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th></th>	729,0 <th>1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th></th>	1000,0 <th>1331,0 <th>∞</th> </th>	1331,0 <th>∞</th>	∞
	1,6039	1,4095	1,2757	1,2112	1,1681	1,0662	0,9890	0,8810	0,8097	0,7765	0,7586	0,7483	0,7420	0,7380	0,7353	0,7271

E.D.Y Normalizasyon (3 Bodrum + Bod. Kat Ağırlığı 25t)

	40/40	80/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	1,509	1,950	2,575	3,064	3,480	4,764	6,002	7,997	9,095	9,658	9,986	10,183	10,308	10,391	10,447	10,621
	Vt (kN)	0,772	0,857	0,928	0,967	0,995	1,071	1,137	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
Zemin	Mt (kNm)	1,982	2,186	2,372	2,501	2,612	2,987	3,381	4,029	4,324	4,479	4,570	4,625	4,660	4,683	4,698	4,747
	Vt (kN)	1,552	1,721	1,864	1,943	2,000	2,152	2,285	2,464	2,464	2,464	2,464	2,464	2,464	2,464	2,464	2,464
Son	Mt (kNm)	2,127	2,359	2,554	2,662	2,741	2,950	3,135	3,385	3,388	3,389	3,390	3,391	3,391	3,391	3,392	3,392
	Vt (kN)	1,976	2,191	2,373	2,473	2,546	2,739	2,908	3,136	3,136	3,136	3,136	3,136	3,136	3,136	3,136	3,136
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

Çizelge 4.6 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

E.D.Y (Tek Bodrum) Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

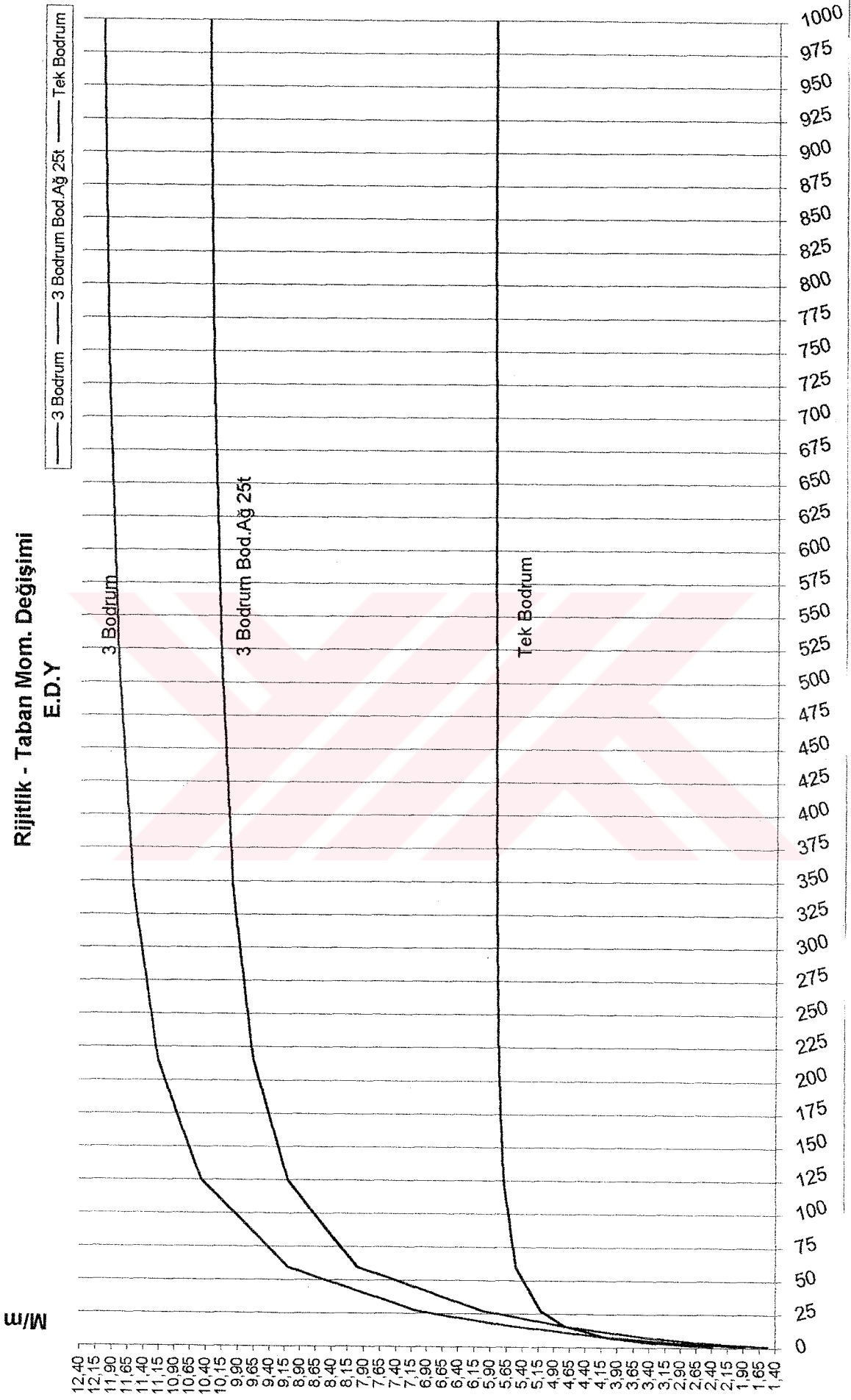
	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞
Taban																
Mt (kNm)	596,23	705,10	850,67	949,42	1021,04	1180,88	1276,61	1374,32	1423,58	1444,23	1455,10	1461,29	1465,07	1467,52	1469,15	1474,12
Vt (kN)	303,62	306,56	306,56	306,56	306,57	306,56	306,57	306,57	306,56	306,57	306,55	306,56	306,57	306,56	306,56	306,56
Zemin																
Mt (kNm)	428,78	449,18	470,50	484,34	494,18	515,73	528,47	541,35	547,83	550,54	551,95	552,77	553,25	553,57	553,78	554,43
Vt (kN)	283,37	286,13	286,13	286,14	286,13	286,12	286,13	286,12	286,13	286,12	286,13	286,12	286,13	286,13	286,12	286,13
Son																
Mt (kNm)	110,95	112,05	112,09	112,11	112,14	112,19	112,23	112,26	112,28	112,27	112,29	112,29	112,29	112,29	112,29	112,29
Vt (kN)	101,20	102,19	102,19	102,19	102,19	102,18	102,18	102,19	102,18	102,19	102,18	102,18	102,18	102,18	102,18	102,18
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

E.D.Y Analiz (Tek Bodrum) Periyotlar

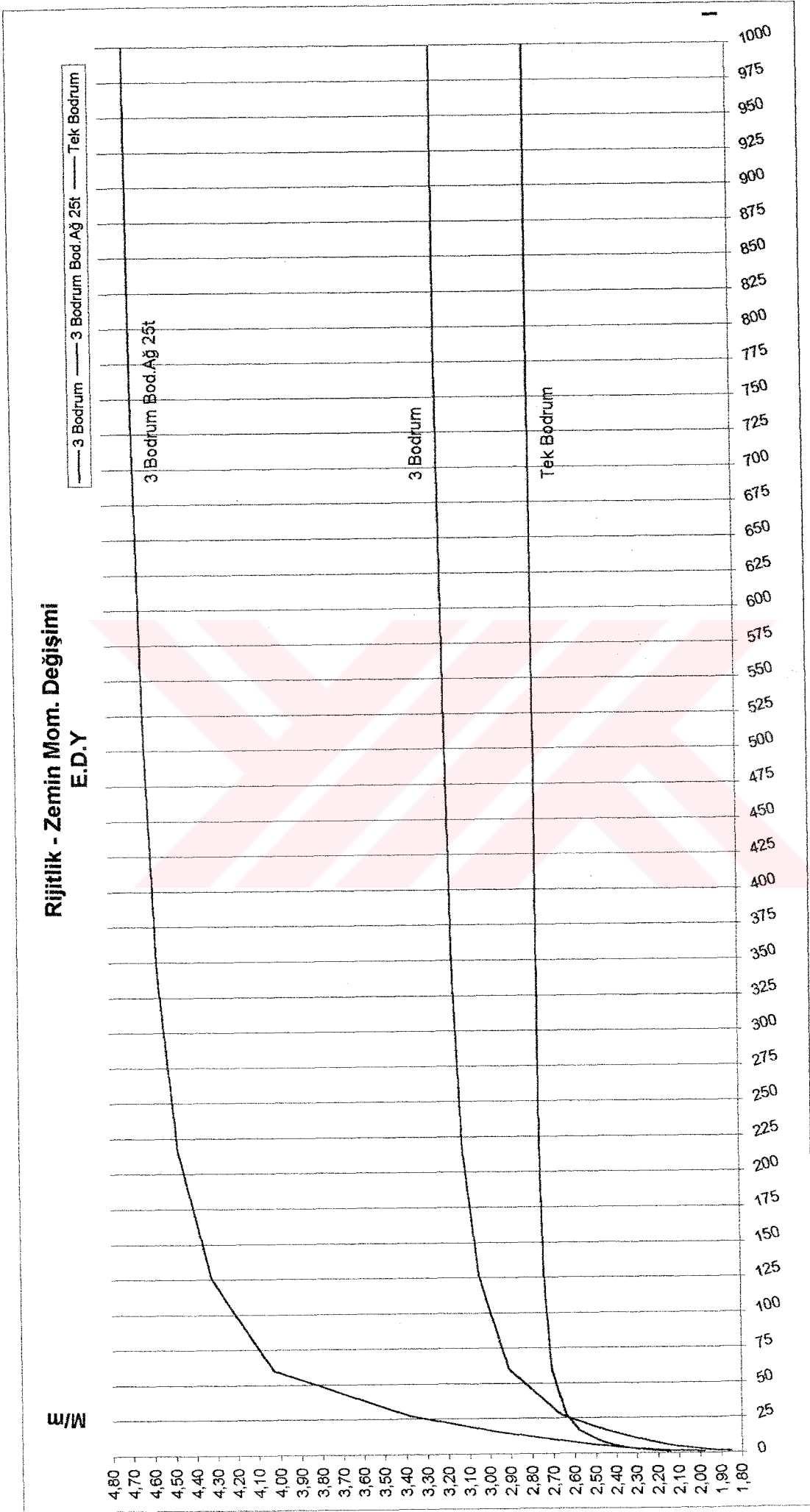
T1	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
	0,9109	0,8641	0,8276	0,8087	0,7963	0,7706	0,7560	0,7416	0,7344	0,7314	0,7298	0,7289	0,7284	0,7280	0,7278	0,7271

E.D.Y Normalizasyon (Tek Bodrum)

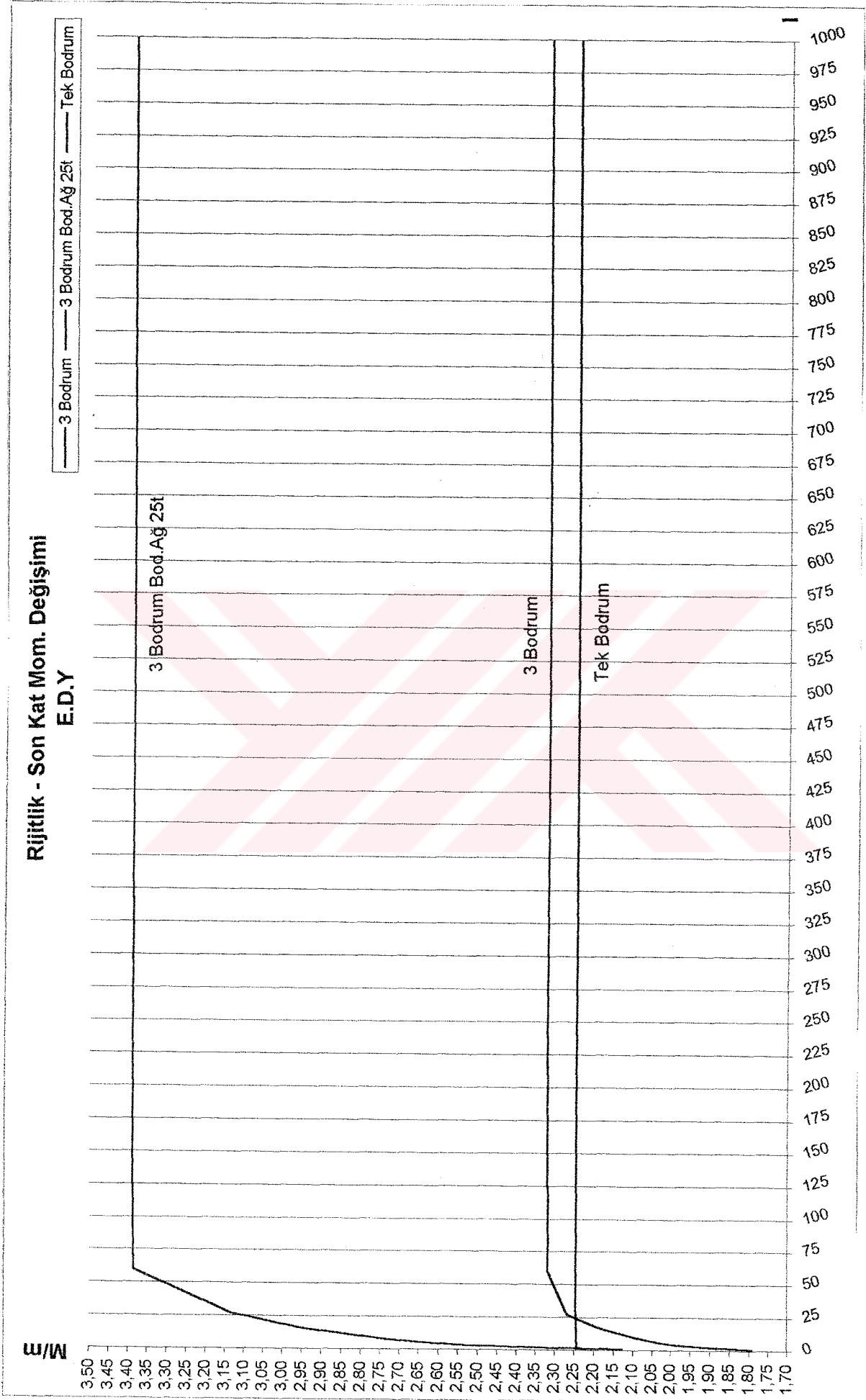
	40/40	40/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞
Taban																
Mt (kNm)	2,385	2,820	3,403	3,798	4,084	4,724	5,106	5,497	5,694	5,777	5,820	5,845	5,860	5,870	5,877	5,896
Vt (kN)	1,214	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
Zemin																
Mt (kNm)	2,144	2,246	2,353	2,422	2,471	2,579	2,642	2,707	2,739	2,753	2,760	2,764	2,766	2,768	2,769	2,772
Vt (kN)	1,417	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431	1,431
Son																
Mt (kNm)	2,219	2,241	2,242	2,242	2,243	2,244	2,245	2,245	2,246	2,246	2,246	2,246	2,246	2,246	2,246	2,246
Vt (kN)	2,024	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044	2,044
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞



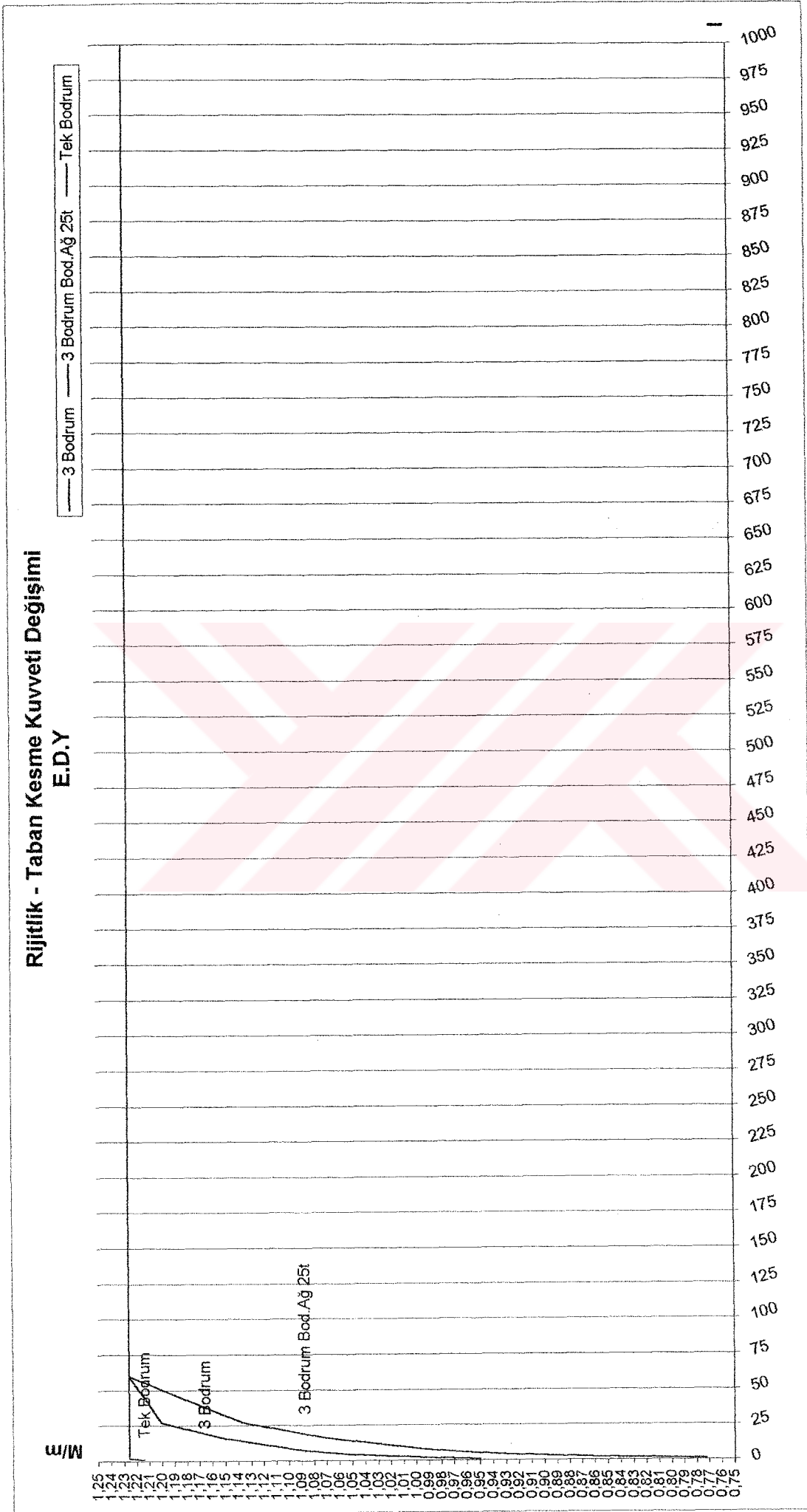
Şekil 4.7 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yükü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği



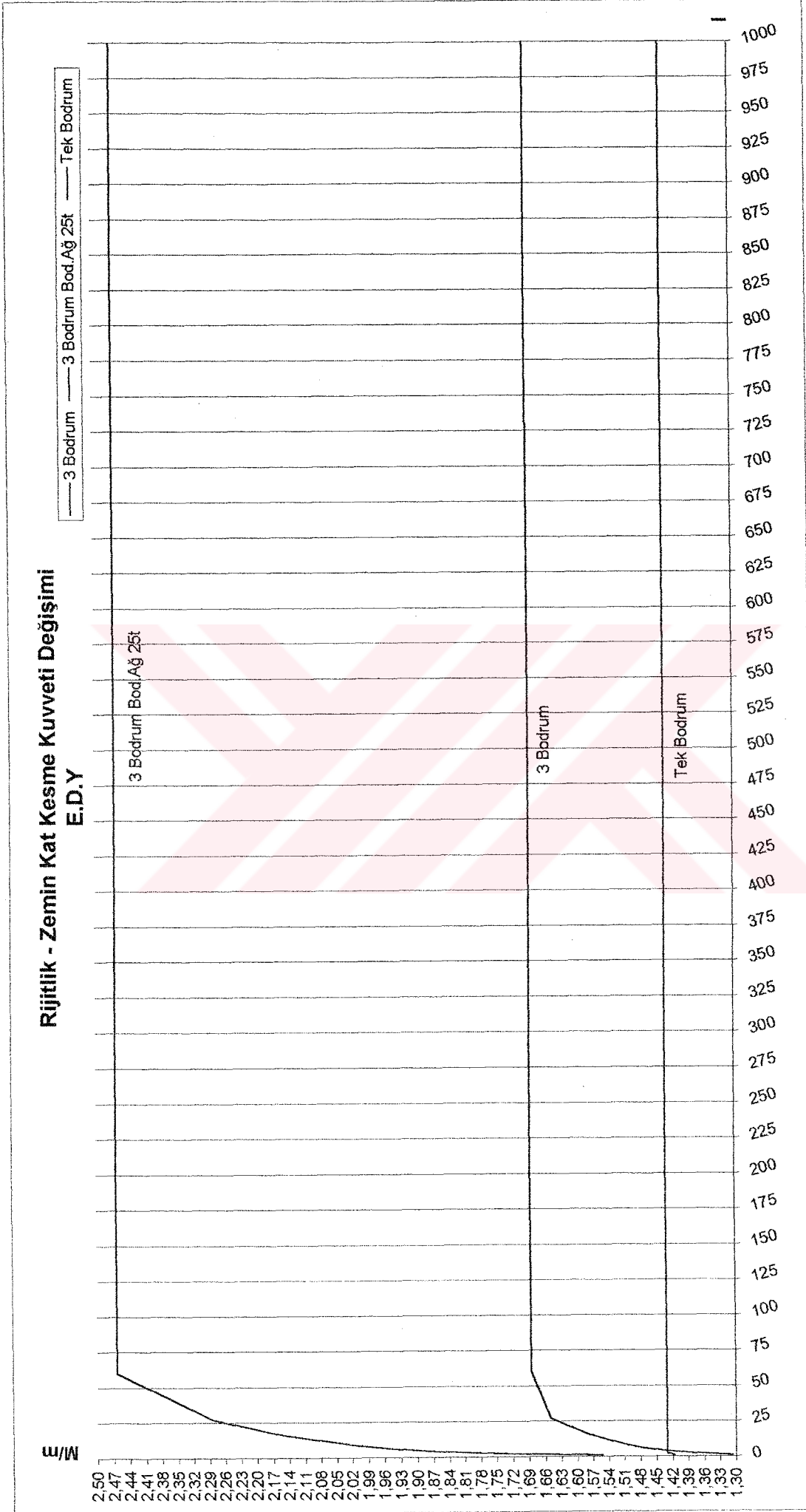
Şekil 4.8 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



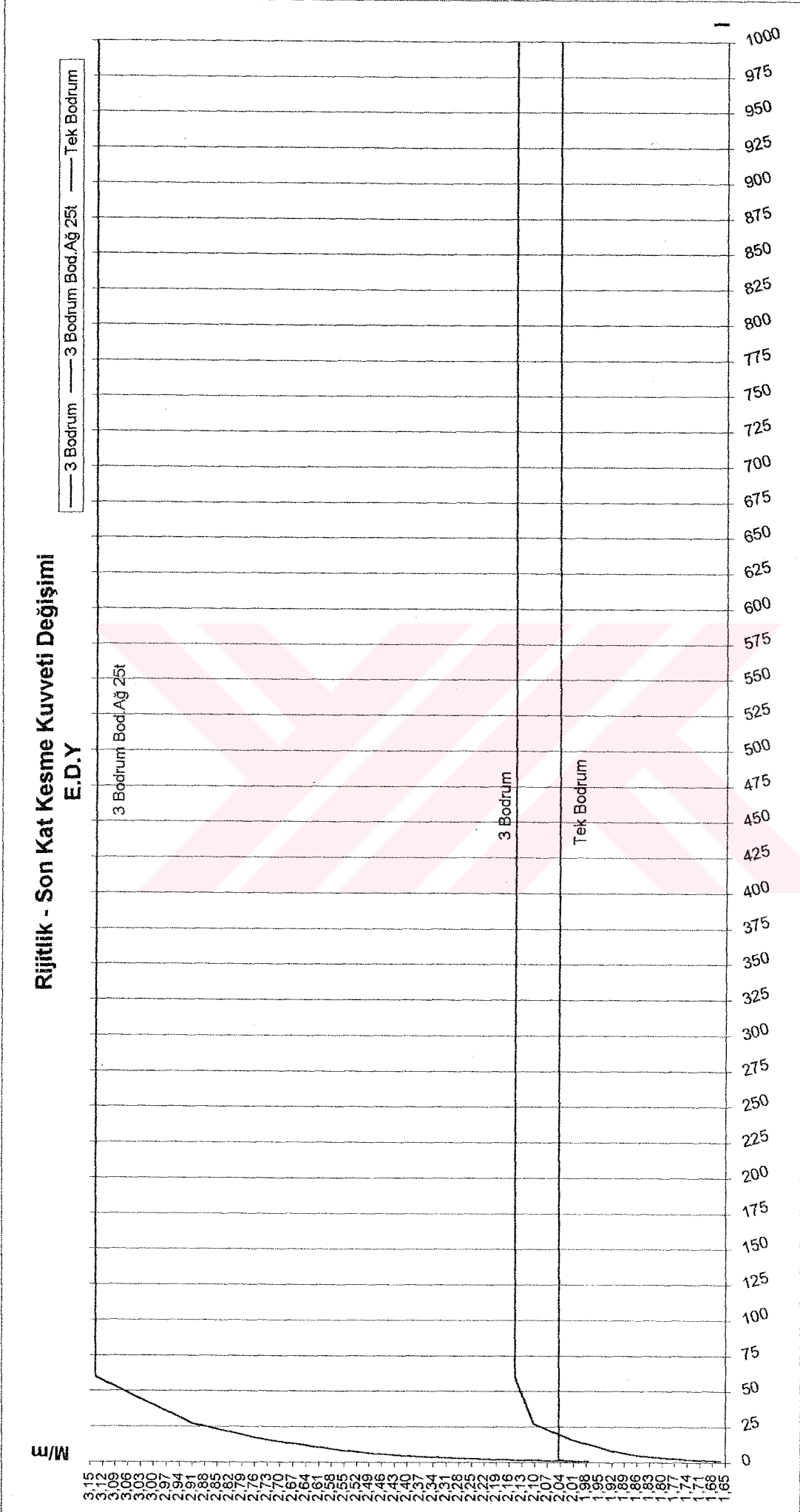
Şekil 4.9 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüktü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafığı



Şekil 4.10 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



Şekil 4.11 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



Şekil 4.12 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yükü (EDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği

4.3 Eşdeğer Deprem Yükü (TDY) Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri

Burada ; bu çalışma kapsamı içerisinde incelenen her bir düzlem çerçeve hesap modeline eşdeğer deprem yükü (TDY) yöntemi uygulanarak toplam 48 adet deprem analizi yapılmış ve elde edilen hesap sonuç değerleri Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu hesap çizelgelerinde kullanılan simgeler ve bu çizelgelerde düzlem hesap çerçevelerinin Bölüm 4.1’ de verilen üç düzlem çerçeve bölgesindeki (Taban, Zemin, Son) TDY yöntemiyle yapılan deprem hesap sonuçları (Mt, Vt) bu çalışmanın “EDY Yöntemiyle Düzlem Çerçeve Analizleri” başlığı altında açıklandığı gibidir.

Bölüm 3.1.3’ te belirtildiği üzere, TDY yöntemiyle yapılan deprem hesaplarında ele alınan düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı ve zemin üstü bölgeleri için ayrı ayrı analizler yapılarak elde edilen sonuçlar Bölüm 2.3’ te açıklandığı şekilde birleştirilmiştir. Dolayısıyla her iki bölge için yapılan analiz hesap sonuçları da TDY yöntemi hesap sonuç değerleri ile birlikte hesap çizelgelerinde verilmiştir. Bu hesap çizelgelerinde T1 düzlem çerçevelerin zemin üstü kısımlarına ait Denklem 2.12 ile hesaplanan birinci doğal titreşim periyodu değerini göstermektedir. Bu bölümde ele alınan düzlem hesap çerçeveleri modellerinde bahsi geçen tüm moment ifadeleri düzlem hesap çerçevelerinin ilgili kat kolonlarının eğilme momenti değerleri anlamındadır.

Her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin eşdeğer deprem yükü (TDY) yöntemi kullanılarak elde edilmiş hesap sonuç değerleri ile çalışmada ele alınan diğer tüm düzlem hesap çerçevesi analiz sonuçlarının birbirleriyle kıyaslanabilmesi için hesap sonuç değerleri normalize edilmişlerdir. Bu normalizasyonda izlenen yöntem ve gerekli açıklamalar Bölüm 4.1’ de verilmiştir. Örnek olarak ; 3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t düzlem hesap çerçevesi modelinin eşdeğer deprem yükü (TDY) yöntemi’yle yapılmış olan dinamik hesap sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu hesap çizelgesinin 4. sütununda bodrum kat en kesit boyutu 240/40 ve bu boyuta karşılık gelen relatif eğilme rijitliği 6.0 olark verilmiştir. Hesap çizelgesinde verildiği üzere, bu hesap çerçevesinin eşdeğer deprem yükü (TDY) analiz hesap sonuç değerleri olan toplam taban kesme kuvveti (Taban) $V_t = 1977.27$ kN, toplam zemin kat kesme kuvveti (Zemin) $V_t = 245.25$ kN ve toplam son kat kesme kuvveti (Son) $V_t = 98.11$ kN olarak hesap edilmiştir. Şekil 3.2’de verilen düzlem hesap çerçevesi modeli incelendiğinde, bu hesap çerçevesinin temel seviyesi üzerinde üçü bodrum kat kütlesi (her birinin kütlesi 250 kNs²/m) olmak üzere toplam 7 adet kat kütlesi bulunmaktadır. Ayrıca zemin kat seviyesi üzerinde her biri 50 kNs²/m kütlelerine sahip toplam 4 adet ve son kat seviyesi üzerinde ise sadece bir kat kütlesi bulunduğu görülecektir.

Böylece bahsi geçen bölümlerdeki hesap toplam kat kesme kuvvetlerinin normalize edilen değerleri $V_t(\text{Taban}) = 1977.27/(3 \times 250 + 4 \times 50) = 2.081$, $V_t(\text{Zemin}) = 245.25/(4 \times 50) = 1.226$ ve $V_t(\text{Son}) = 98.11/50 = 1.962$ olarak elde edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ile elde edilen toplam kat eğilme momenti değerleri de aynı şekilde hesaplanarak normalize edilmişlerdir. Bu bağlamda, elde edilmiş normalize hesap değerleri kullanılarak Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de verilen hesap sonuç grafikleri hesap sonuçların birbirleriyle kıyaslanabilmeleri amacıyla hazırlanmıştır. Bu hesap sonuç grafiklerinin hazırlanmasında izlenen yöntem ve kullanılan simgeler Bölüm 4.1' de verilmiştir.



Çizelge 4.7 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Eşdeğer Deprem Yüklü (TDY) Yöntemiyle Hesaplanmış Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

T.D.Y (3 Bodrum Üst Katlar)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	488,87	578,68	724,72	844,60	947,53	1256,70	1532,86	1953,47	2259,02	2416,27	2507,72	2563,07	2598,04	2621,03	2636,71	2685,49
	Vt (kN)	245,25	245,26	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,24	245,25	245,24	245,25	245,24	245,26	245,25	245,24
Zemin	Mt (kNm)	361,80	364,70	369,64	374,37	378,87	394,29	409,52	433,97	452,29	461,83	467,40	470,78	472,91	474,33	475,28	478,27
	Vt (kN)	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25
Son	Mt (kNm)	109,02	109,02	109,03	109,03	109,04	109,07	109,11	109,17	109,22	109,25	109,27	109,27	109,27	109,28	109,28	109,28
	Vt (kN)	98,10	98,10	98,10	98,11	98,09	98,09	98,10	98,09	98,10	98,09	98,11	98,11	98,11	98,11	98,10	98,10
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	

T.D.Y (3 Bodrum Üst Katlar) Periyotlar

T1	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞
	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271

T.D.Y (3 Bodrum Bodrum Katlar)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	737,72	837,83	983,23	1090,85	1177,33	1416,07	1612,90	1895,27	2091,11	2189,44	2245,94	2279,90	2301,25	2315,26	2324,79	2354,37
	Vt (kN)	392,40	392,40	392,41	392,39	392,40	392,39	392,40	392,40	392,40	392,40	392,40	392,39	392,40	392,39	392,41	392,40
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	

T.D.Y (3 Bodrum)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	885,00	1018,25	1221,46	1379,60	1511,26	1893,29	2225,11	2721,78	3078,30	3260,68	3366,44	3430,35	3470,67	3497,17	3515,24	3571,40
	Vt (kN)	462,74	462,74	462,75	462,72	462,74	462,73	462,74	462,74	462,73	462,74	462,73	462,73	462,73	462,73	462,75	462,73
Zemin	Mt (kNm)	361,80	364,70	369,64	374,37	378,87	394,29	409,52	433,97	452,29	461,83	467,40	470,78	472,91	474,33	475,28	478,27
	Vt (kN)	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25	245,26	245,25
Son	Mt (kNm)	109,02	109,02	109,03	109,03	109,04	109,07	109,11	109,17	109,22	109,25	109,27	109,27	109,27	109,28	109,28	109,28
	Vt (kN)	98,10	98,10	98,10	98,11	98,09	98,09	98,10	98,09	98,10	98,09	98,11	98,11	98,11	98,11	98,10	98,10
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	

T.D.Y Normalizasyon (3 Bodrum)

	40/40	40/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240	∞	
Taban	Mt (kNm)	2,529	2,909	3,490	3,942	4,318	5,409	6,357	7,777	8,795	9,316	9,618	9,801	9,916	9,992	10,044	10,204
	Vt (kN)	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322	1,322
Zemin	Mt (kNm)	1,809	1,824	1,848	1,872	1,894	1,971	2,048	2,170	2,261	2,309	2,337	2,354	2,365	2,372	2,376	2,391
	Vt (kN)	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
Son	Mt (kNm)	2,180	2,180	2,181	2,181	2,181	2,182	2,183	2,183	2,184	2,185	2,185	2,185	2,185	2,185	2,186	2,186
	Vt (kN)	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	

Sonuç Değerleri ile Normalize Edilmiş Değerler

T.D.Y (3 Bodrum+Bod. Kat Ağırlığı 25t Üst Katlar)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240		
Taban	Mt (kNm)	488,87	578,68	724,72	844,60	947,53	1256,70	1532,86	1953,47	2259,02	2416,27	2507,72	2563,07	2598,04	2621,03	2636,71	2685,49
	Vt (kN)	245,25	245,26	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,24	245,25	245,24	245,25	245,24	245,26	245,25	245,24
Zemin	Mt (kNm)	361,80	364,70	369,64	374,37	378,87	394,29	409,52	433,97	452,29	461,83	467,40	470,78	472,91	474,33	475,28	478,27
	Vt (kN)	245,26	245,25	245,26	245,26	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,25	245,25	245,25	245,26	245,25	245,25
Son	Mt (kNm)	109,02	109,02	109,03	109,03	109,04	109,07	109,11	109,17	109,22	109,25	109,27	109,27	109,27	109,28	109,28	109,28
	Vt (kN)	98,10	98,10	98,11	98,11	98,09	98,09	98,10	98,09	98,10	98,09	98,11	98,11	98,11	98,11	98,10	98,10
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

T.D.Y (3 Bodrum+Bod. Kat Ağırlığı 25t Üst Katlar) Periyotlar

T1	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271	0,7271
	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞	

T.D.Y (3 Bodrum+Bod. Kat Ağırlığı 25t Bodrum Katlar)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

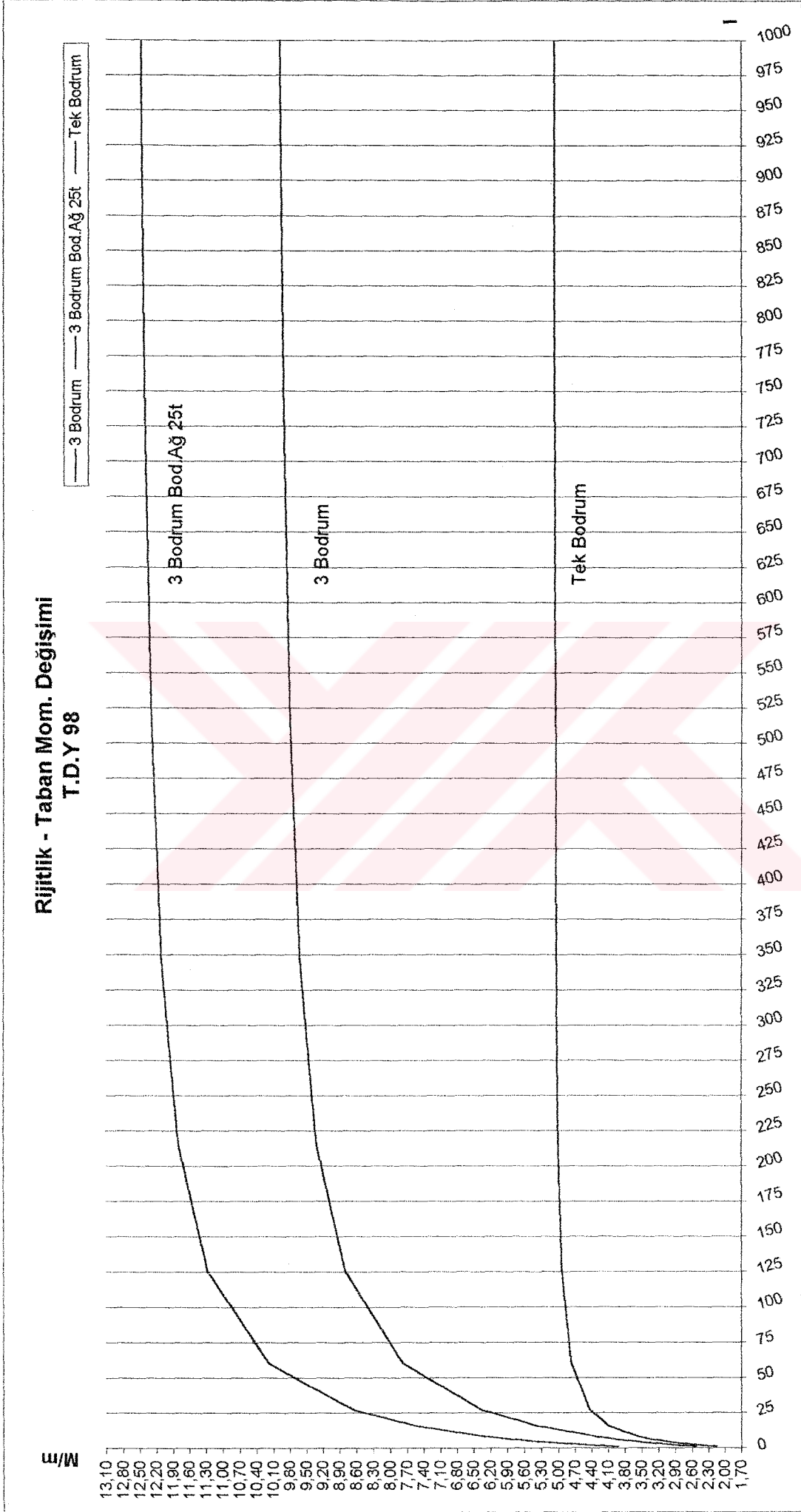
	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240		
Taban	Mt (kNm)	3688,54	4189,21	4916,09	5454,25	5886,65	7080,35	8064,53	9476,33	10455,58	10947,20	11229,71	11399,47	11506,27	11576,33	11623,99	11771,91
	Vt (kN)	1961,99	1962,00	1962,01	1962,00	1962,00	1961,99	1962,01	1961,99	1962,00	1962,00	1962,01	1961,99	1962,01	1961,99	1962,01	1962,00
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

T.D.Y (3 Bodrum+Bod. Kat Ağırlığı 25t)Cons. Var, Rijitlik yok, kuvvetli yön 40cm

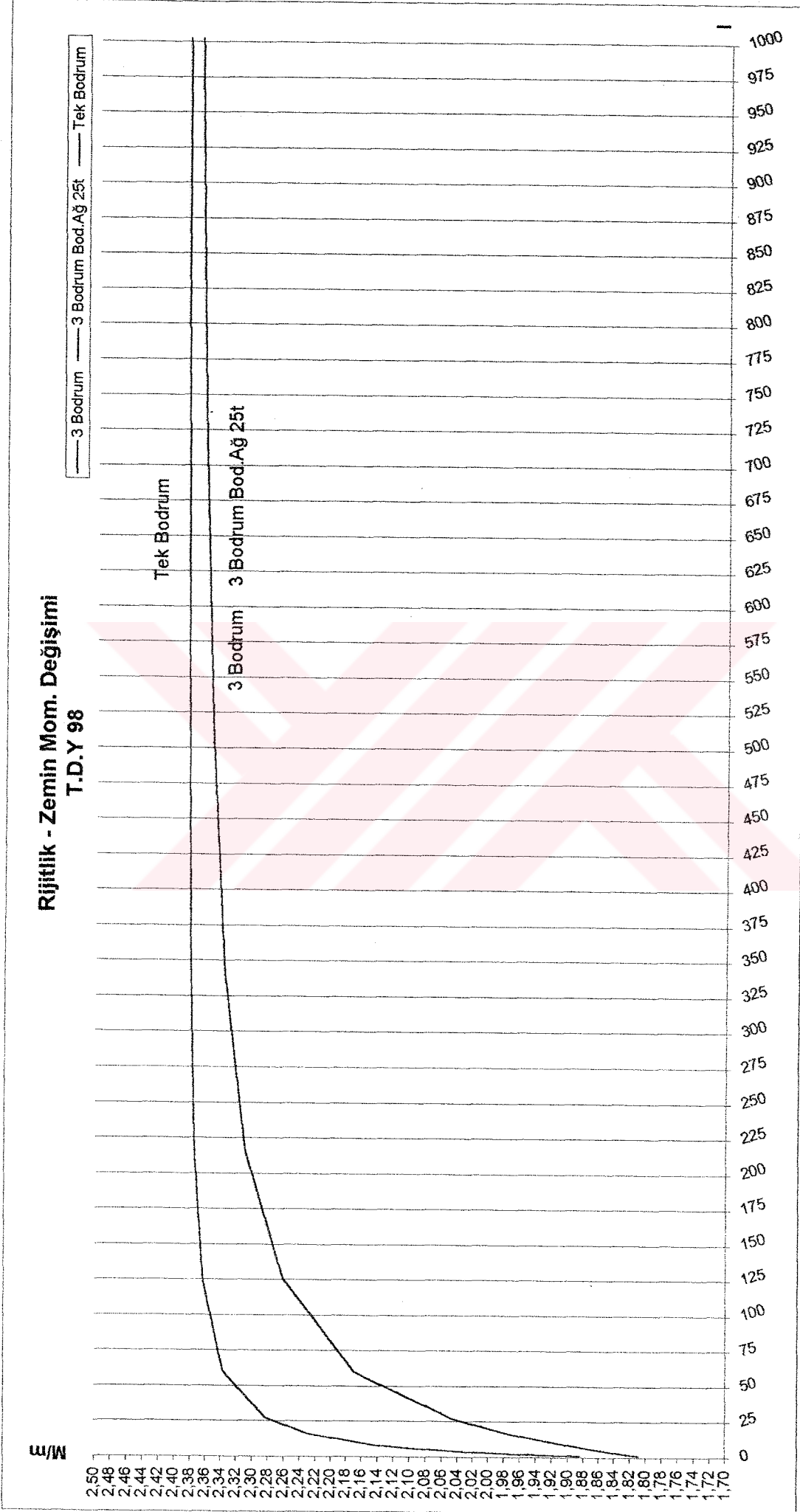
	40/40	80/40	160/40	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240		
Taban	Mt (kNm)	3720,80	4228,99	4969,22	5519,26	5962,42	7191,01	8208,92	9675,58	10696,84	11210,69	11506,30	11684,06	11795,93	11869,34	11919,29	12074,34
	Vt (kN)	1977,26	1977,27	1977,28	1977,27	1977,27	1977,26	1977,28	1977,26	1977,27	1977,27	1977,28	1977,26	1977,28	1977,26	1977,28	1977,27
Zemin	Mt (kNm)	361,80	364,70	369,64	374,37	378,87	394,29	409,52	433,97	452,29	461,83	467,40	470,78	472,91	474,33	475,28	478,27
	Vt (kN)	245,26	245,25	245,26	245,26	245,26	245,24	245,26	245,25	245,26	245,25	245,25	245,25	245,25	245,26	245,25	245,25
Son	Mt (kNm)	109,02	109,02	109,03	109,03	109,04	109,07	109,11	109,17	109,22	109,25	109,27	109,27	109,27	109,28	109,28	109,28
	Vt (kN)	98,10	98,10	98,11	98,11	98,09	98,09	98,10	98,09	98,10	98,09	98,11	98,11	98,11	98,11	98,10	98,10
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞

T.D.Y Normalizasyon (3 Bodrum+Bod. Kat Ağırlığı 25t)

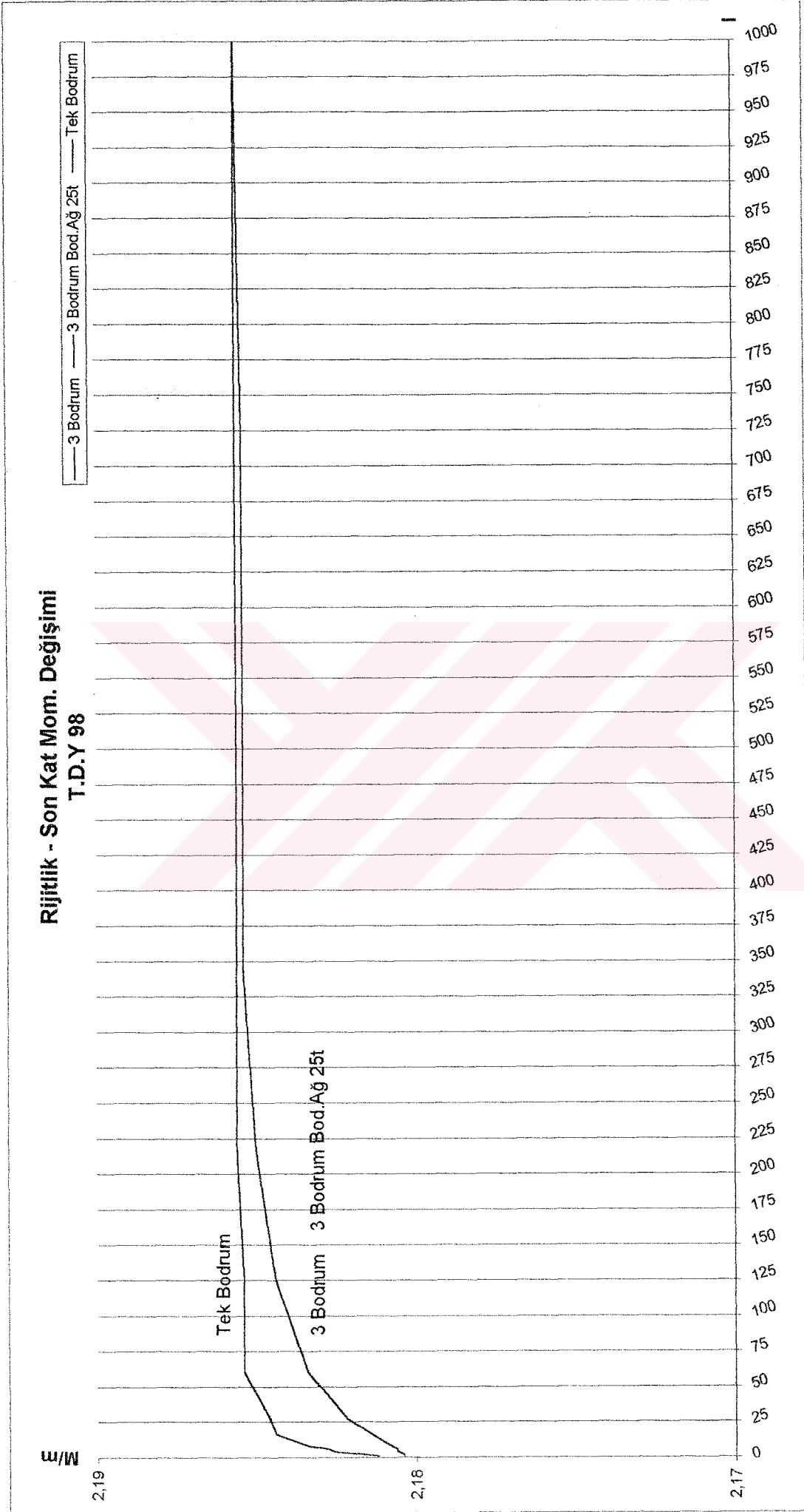
	40/40	80/80	40/160	240/40	320/40	640/40	1080/40	2400/40	5000/40	8640/40	13720	20480	29160	40000	53240		
Taban	Mt (kNm)	3,917	4,452	5,231	5,810	6,276	7,569	8,641	10,185	11,260	11,801	12,112	12,299	12,417	12,494	12,547	12,710
	Vt (kN)	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081	2,081
Zemin	Mt (kNm)	1,809	1,824	1,848	1,872	1,894	1,971	2,048	2,170	2,261	2,309	2,337	2,354	2,365	2,372	2,376	2,391
	Vt (kN)	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226	1,226
Son	Mt (kNm)	2,180	2,180	2,181	2,181	2,181	2,181	2,182	2,183	2,184	2,185	2,185	2,185	2,185	2,186	2,186	2,186
	Vt (kN)	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962	1,962
		1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	16,000	27,0	60,0	125,0	216,0	343,0	512,0	729,0	1000,0	1331,0	∞



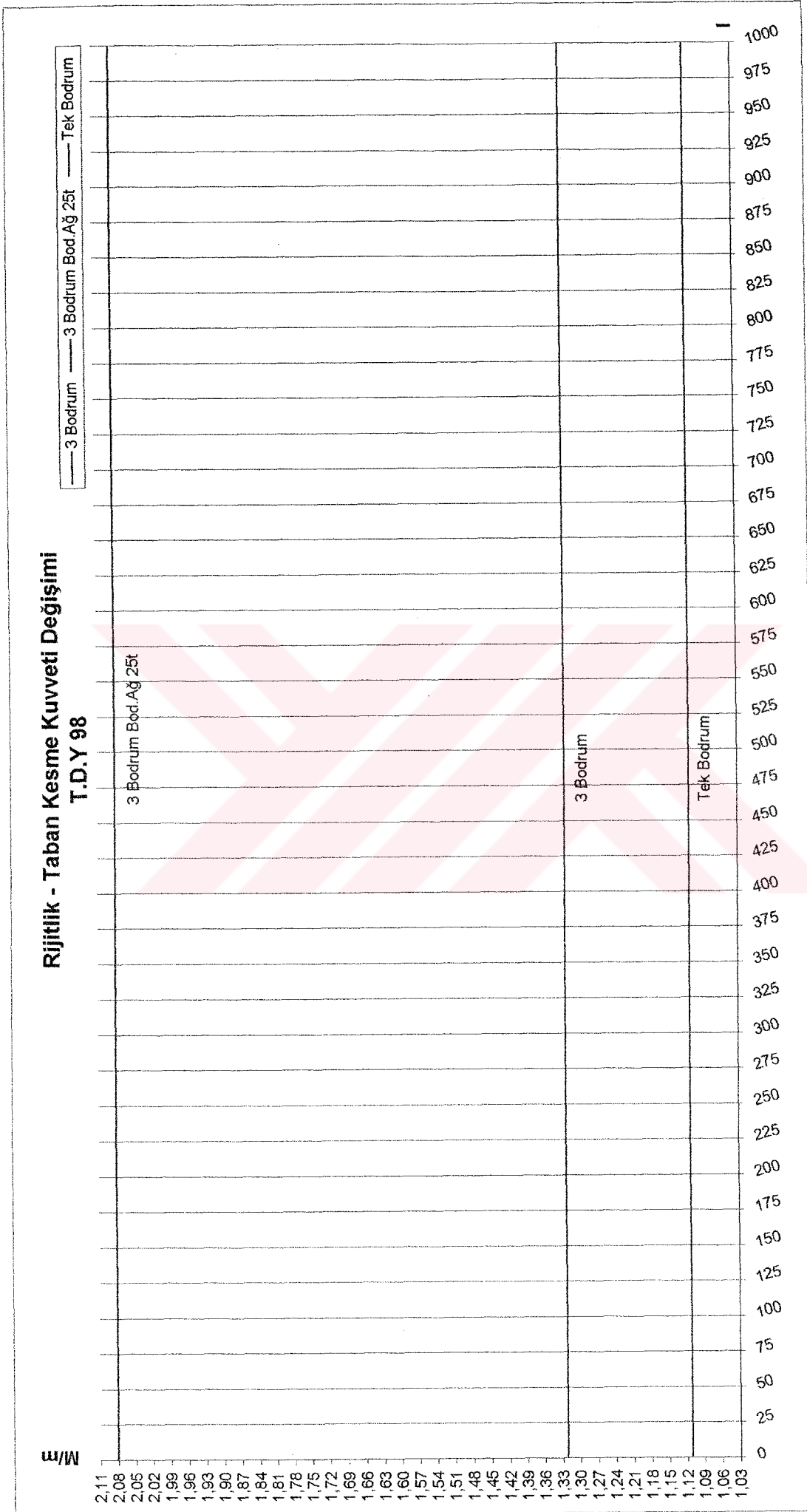
Şekil 4.13 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği



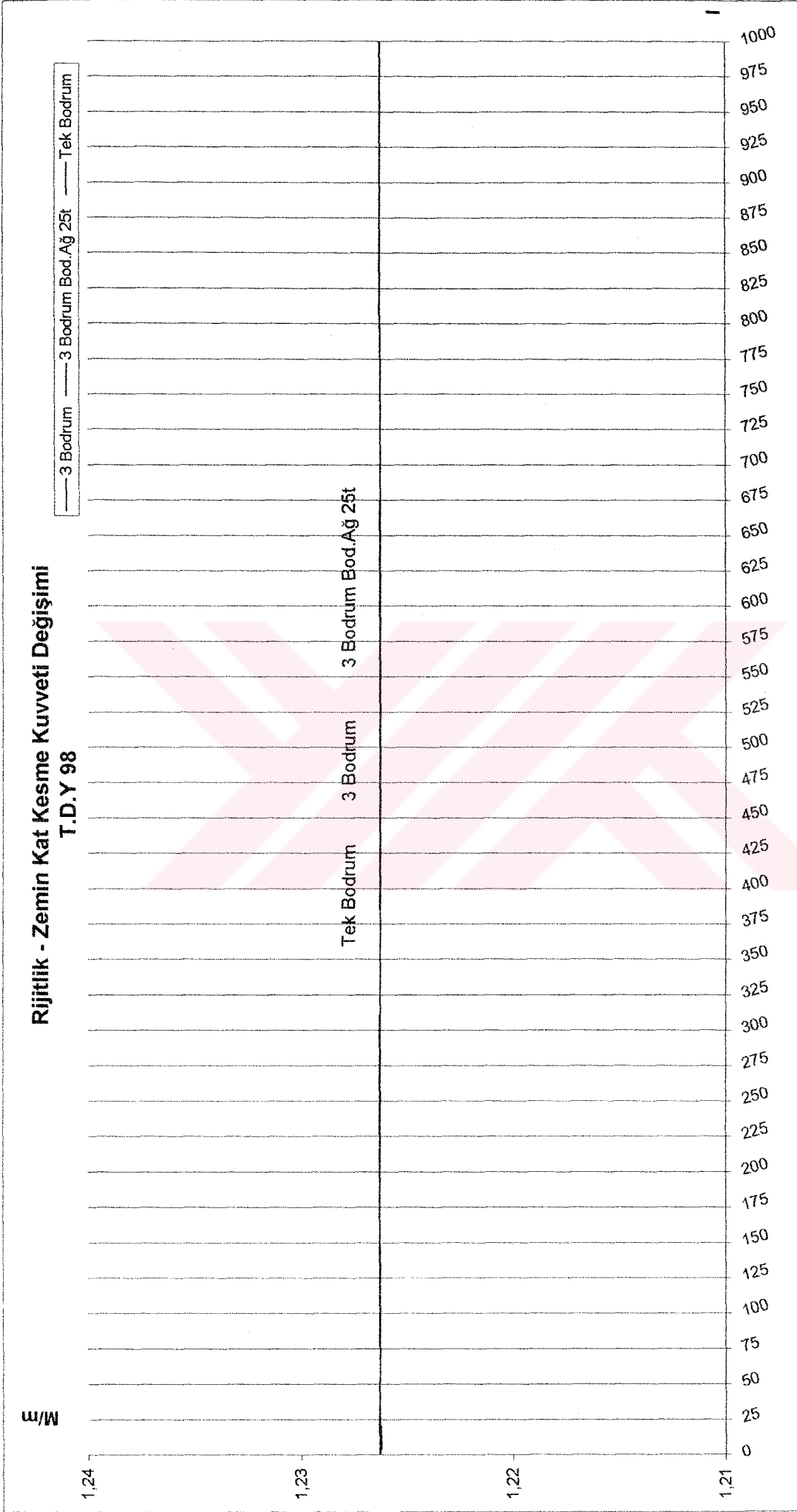
Şekil 4.14 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafığı



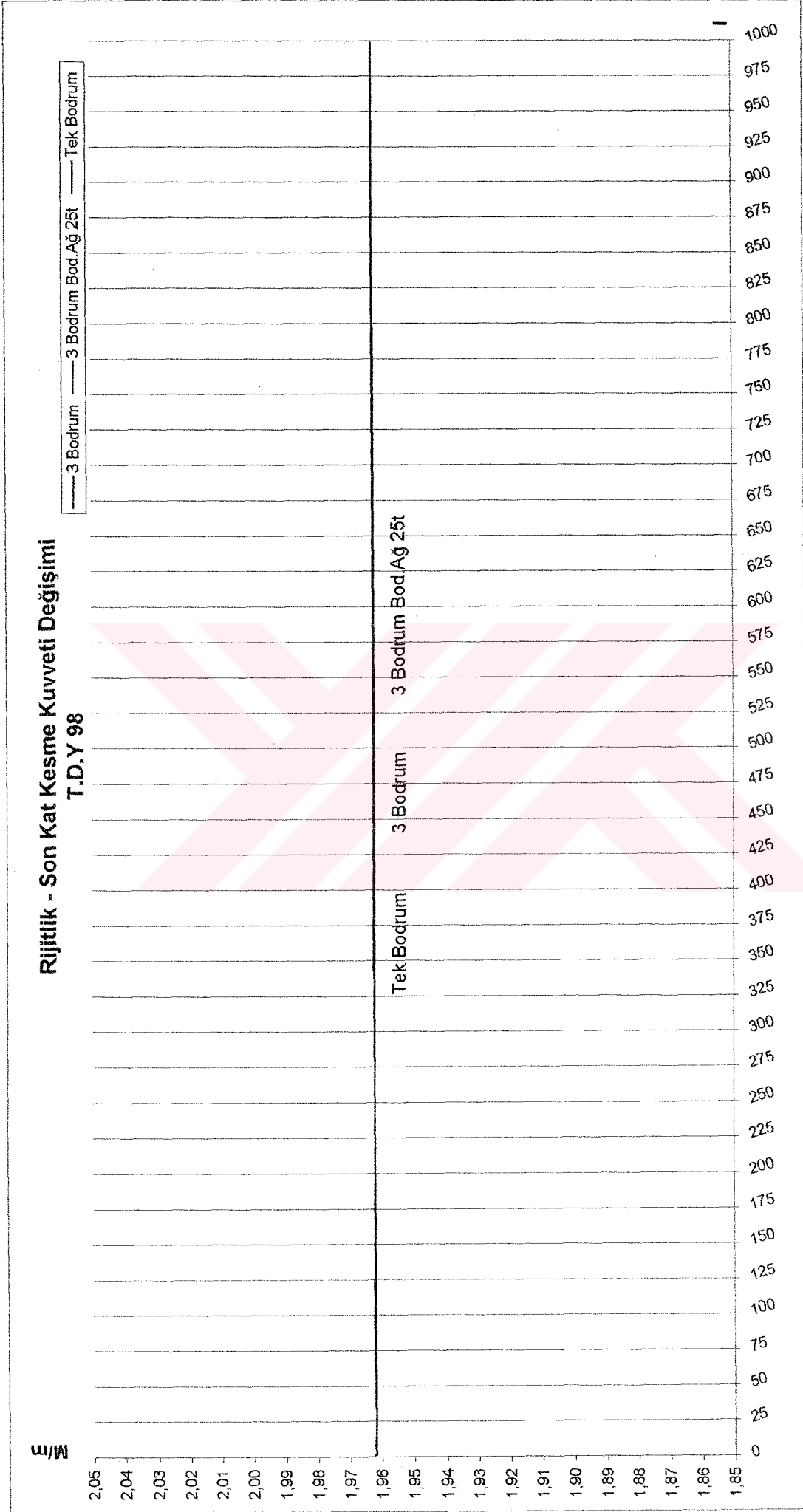
Şekil 4.15. Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



Şekil 4.16 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



Şekil 4.17 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



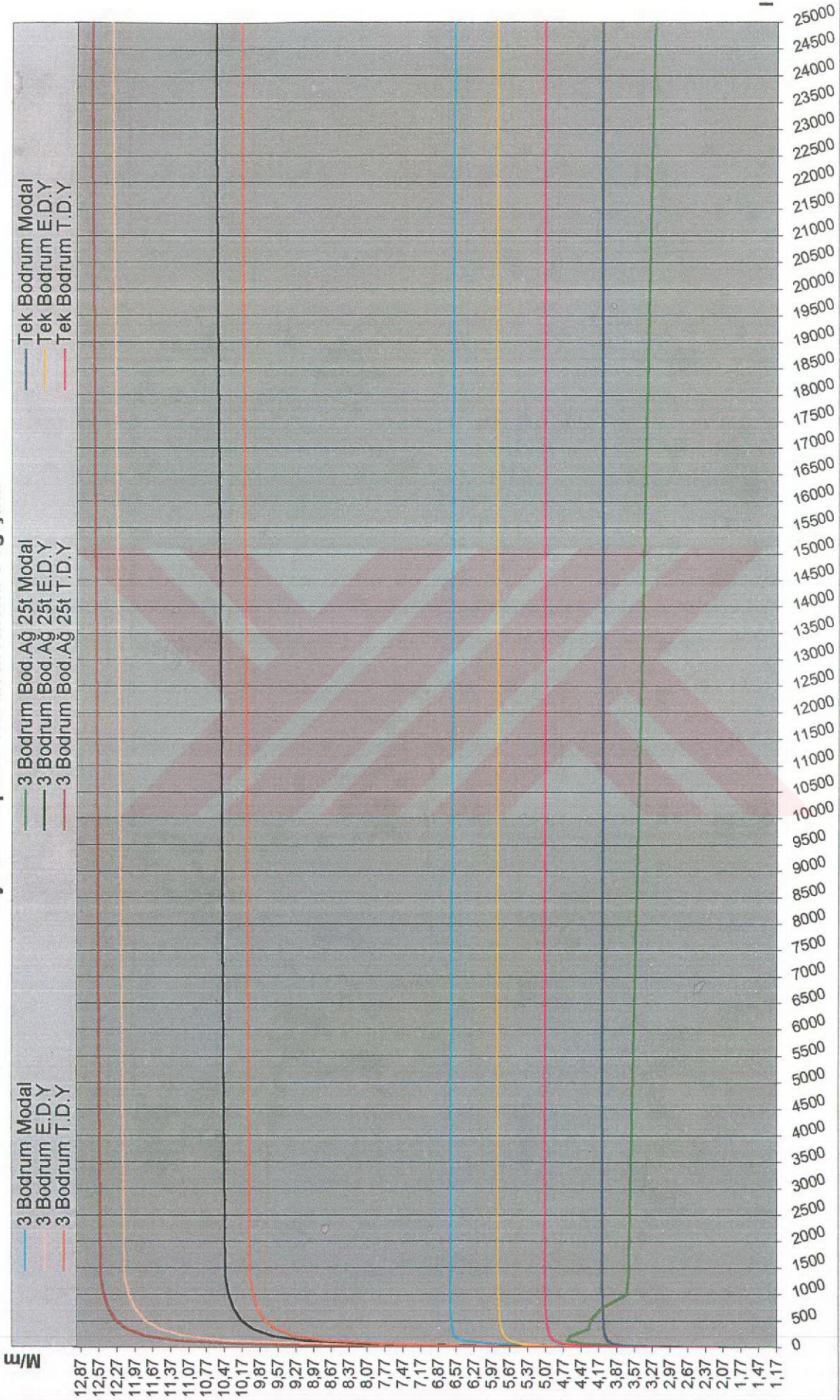
Şekil 4.18 Düzlem Hesap Çerçevelerinin Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemiyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği

4.4 Tüm Analiz Yöntemlerini İçeren Düzlem Çerçeve Hesap Sonuç Grafikleri

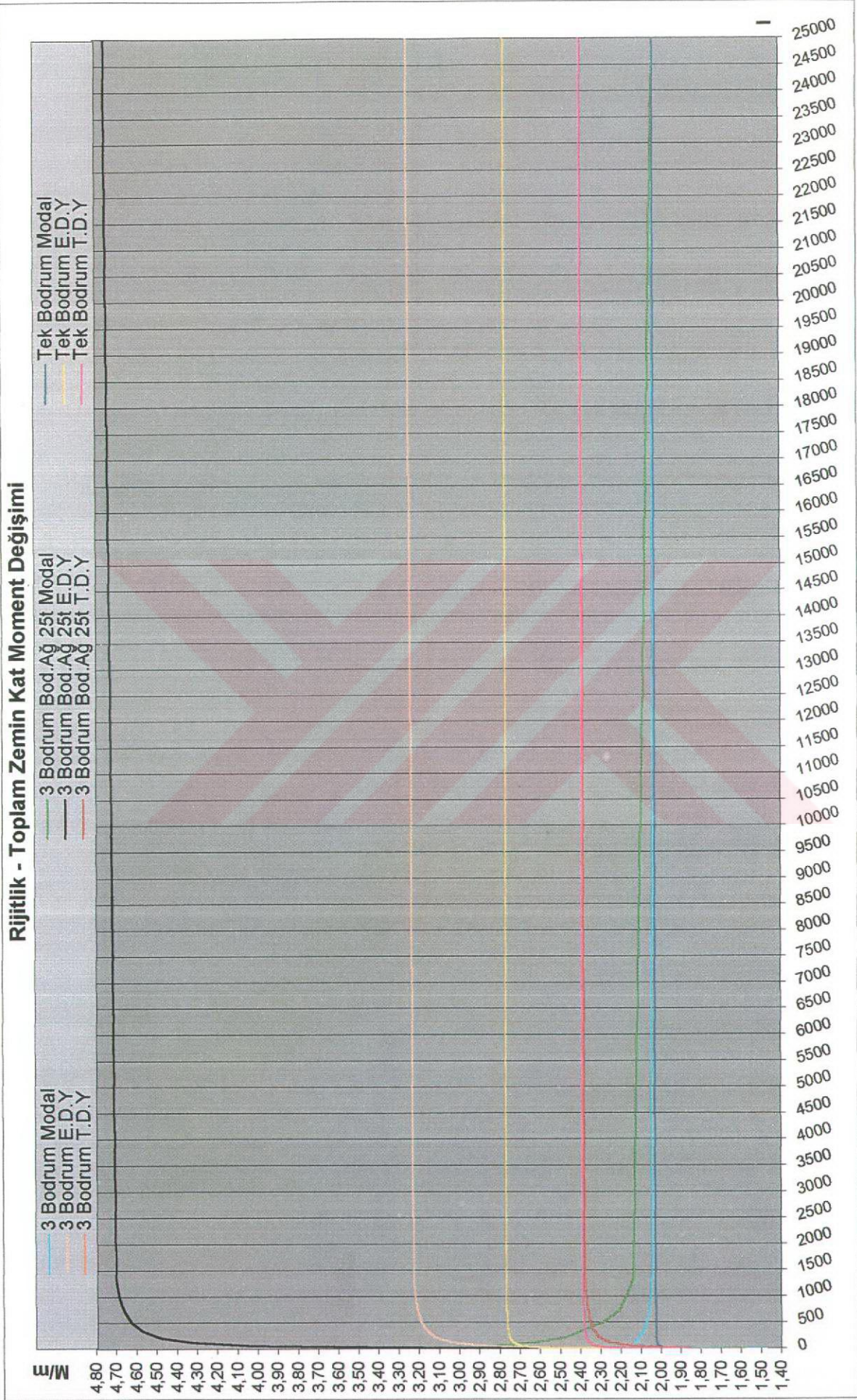
Burada ; Bölüm 3' te verilen her bir düzlem çerçeve hesap modeline, çalışmada öngörülen tüm hesap yöntemlerinin bilgisayar ortamında uygulanması ile (toplam $3 \times 3 \times 16 = 144$ adet deprem analizi yapılarak) hesaplanan dinamik hesap sonuçlarının, Bölüm 4.1, Bölüm 4.2 ve Bölüm 4.3' te açıklandığı şekilde normalize edilmesi ile elde edilmiş hesap sonuçlarının çizilen grafiklerin düşey eksen değerleri ; düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı kısımlarında değiştirilen kolon en kesit boyutları sebebiyle artan düzlem çerçeve bodrum kat relatif eğilme rijitliği değerleri ise çizilen grafiklerin yatay eksen değerlerini gösterecek şekilde ; hazırlanmış hesap sonuç grafikleri verilmiştir.

Bölüm 4'te verilen hesap çizelgelerinden görüleceği üzere düzlem çerçevelerin bodrum kat eğilme rijitlikleri sonsuza kadar büyütülmüştür. Düzlem hesap çerçevelerinin, öngörülen deprem hesap yöntemleri bağlamında deprem etkisi altındaki davranışlarının irdelenebilmesi amacıyla hazırlanmış olan bu grafiklerin çizilebilmesi için sonsuz bodrum kat relatif eğilme rijitliği değeri 25000 olarak kabul edilmiştir(Şekil 4.19,20,21,22,23,24).

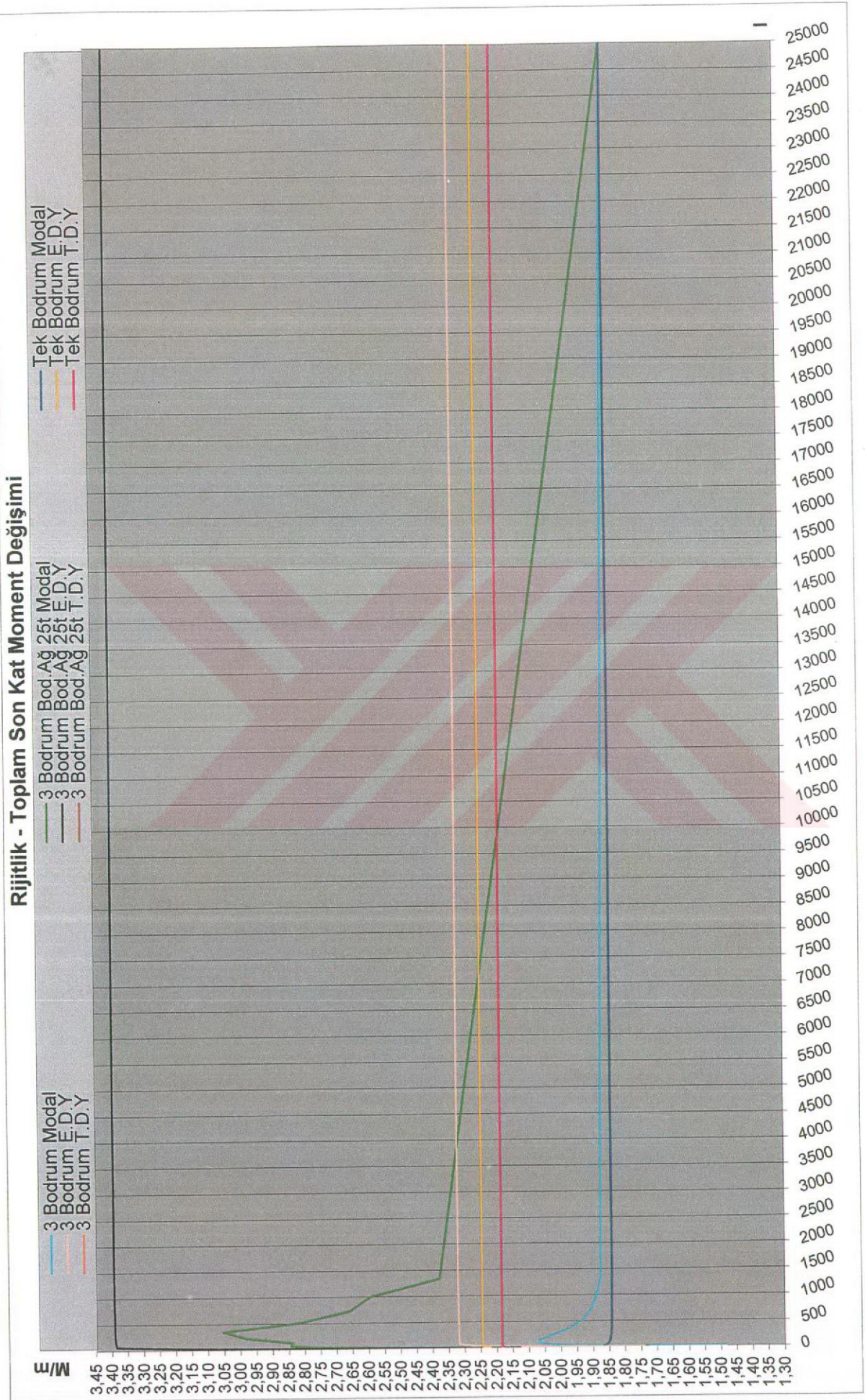
Rijitlik - Toplam Taban Momenti Değişimi



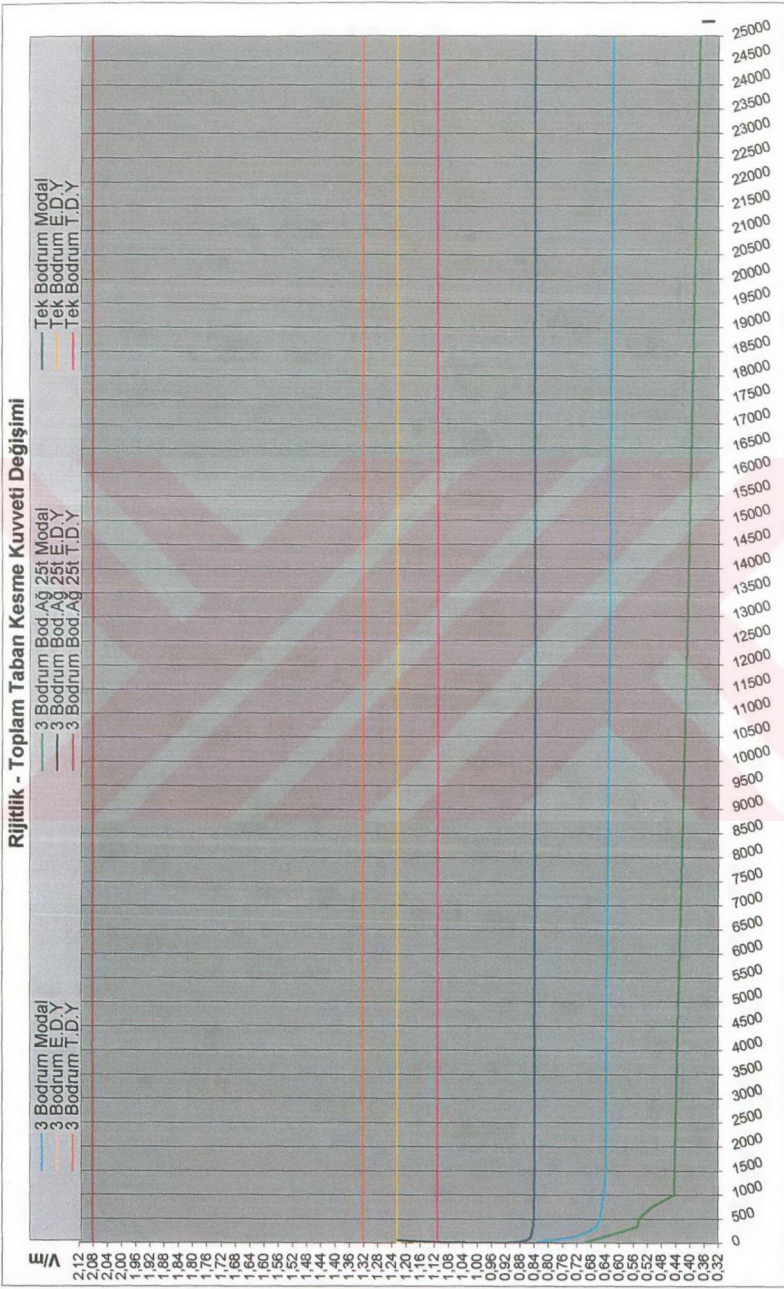
Şekil 4.19 Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği



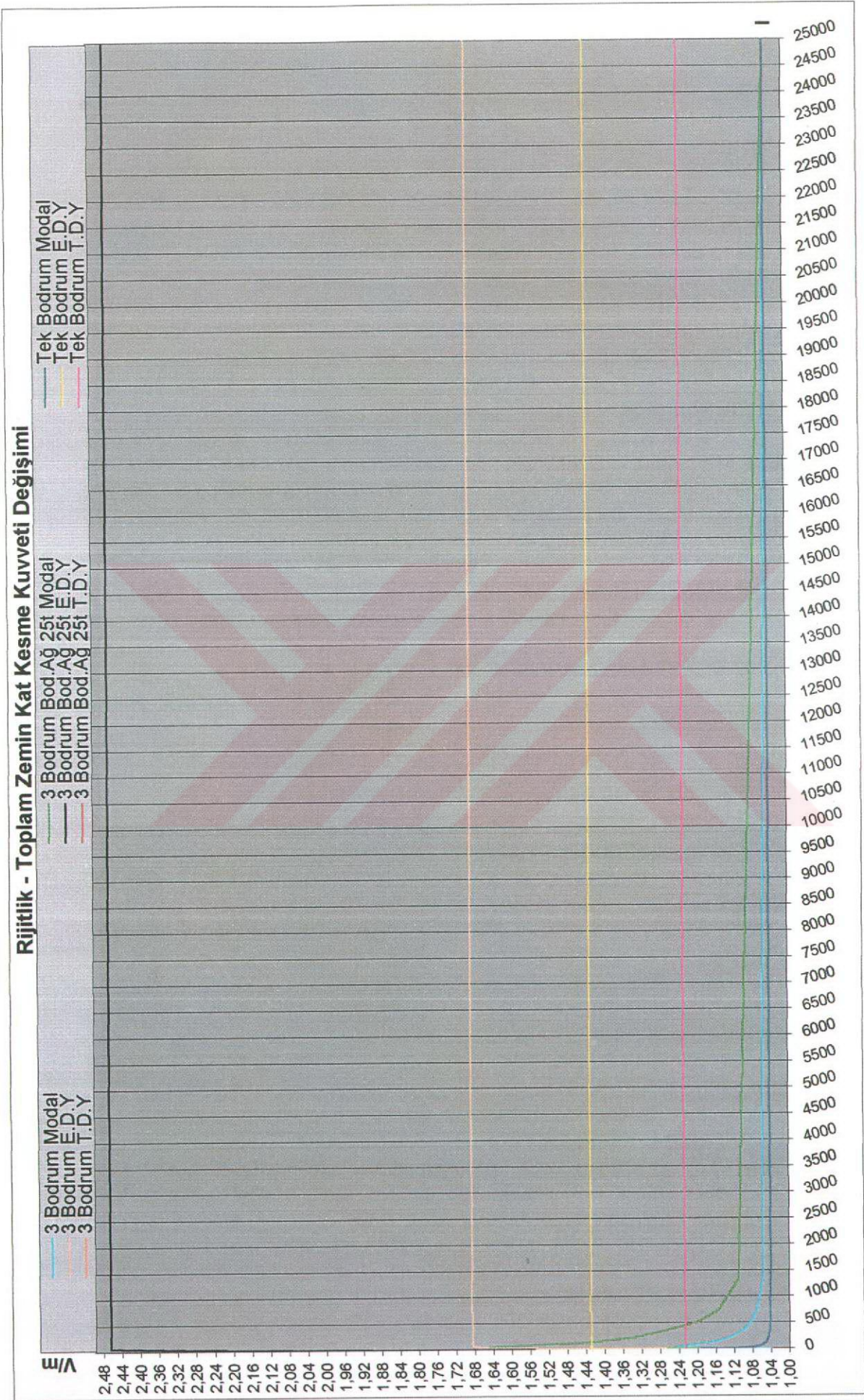
Şekil 4.20 Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



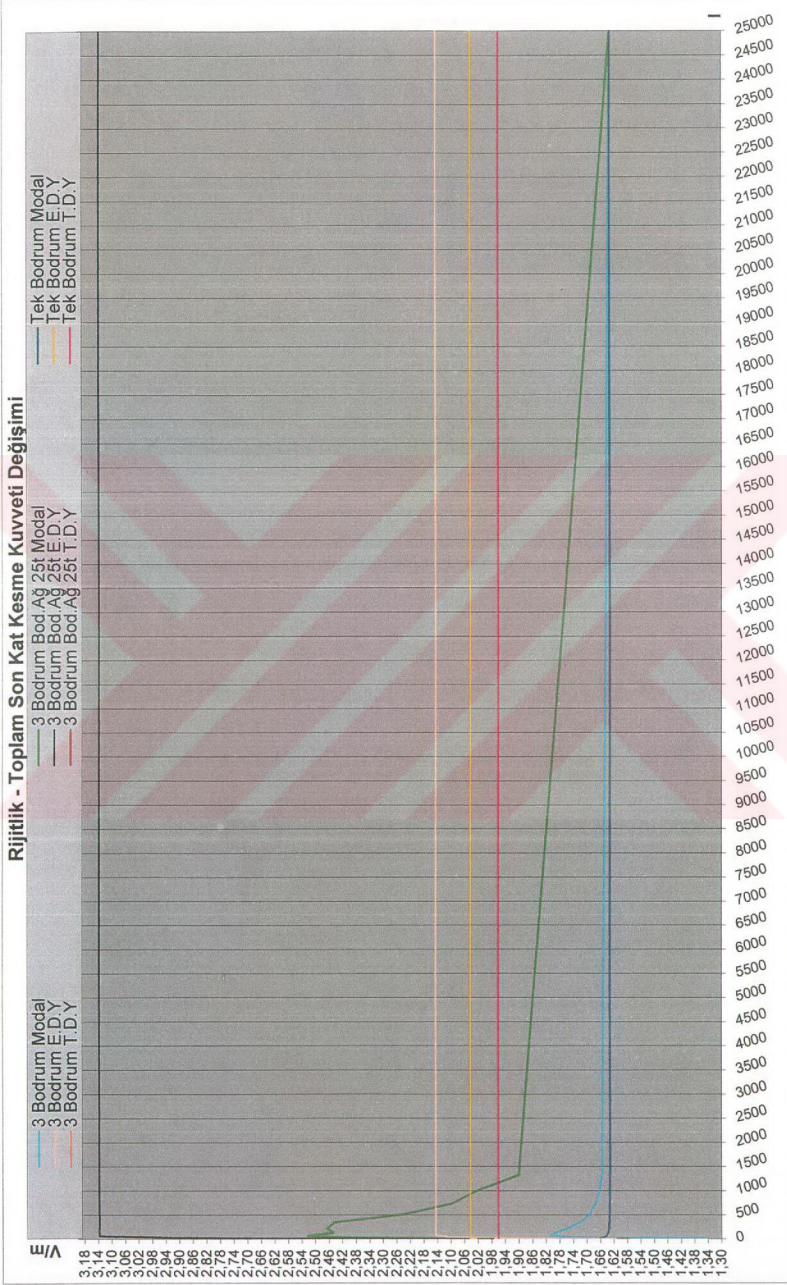
Şekil 4.21 Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



Şekil 4.22 Tüm Düzlem Hesap Çerçevesinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



Şekil 4.23 Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



Şekil 4.24 Tüm Düzlem Hesap Çerçevelerinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Bodrum Kat Eğilme Rijitliği – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği

5. DÜZLEM HESAP ÇERÇEVELERİNİN ANALİTİK DEĞERLENDİRİLMELERİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüzyılın başındaki Sanayi Devrimi'nden sonra, Ülkemizde de 1950 yılından başlayarak çeşitli sosyo-ekonomik koşullar nedeniyle başlayan kırsal kesimlerden şehirlere göç olayı ile kentsel nüfus hızla artarak, sağlıksız kentleşme ile bazıları metropoller hatta megapoller haline gelmiştir. Artan nüfus, bu metropol alanlarında çok fazla konut, iş yeri ve sanayi bölgeleri gibi hizmet gereksinimini doğurmuş, hızla büyüyen yeni yapılaşmalar nedeniyle de yerleşme alanları azalarak, arsa değerleri yükselmiştir. Bu gerekçelerle kentsel yerleşme alanlarında, içlerinde çok fazla sayıda insanı değişik amaçlarla barındıran, çok katlı yüksek yapılar üretilmeye başlanarak, arz-talep dengesi kurulmaya çalışılmıştır. Kaçınılmaz olarak bu nitelikteki yapılarda, barındırdıkları insanların ihtiyaçlarını karşılayabilmek için daha fazla otopark, depo ve servis mekanlarının yapılmasını gerekli kılmıştır. Bunun sonucunda yeni mekanlara duyulan gereksinimler, çok katlı yapıların zemin altında da tasarlanarak, birden fazla bodrum katların yapımını zorunlu hale getirmiştir. Bu durumda, toprak itkisini karşılamak amacıyla zemin altında yapılan betonarme perdeler ; yapının bu bölgedeki rijitliği, kayma şekil değiştirmelerinin etkisi hesaba katıldığı zaman bile, üst tarafın rijitliğine göre çok büyük değerlere ulaşabilmektedir.

Rijit bodrumlu yapıların deprem hesapları için ; mod birleştirme yöntemi uygulanırken, yapının çevre perdeli bölgesi "rijit bölge", bunun üst tarafı da "rijit olmayan bölge" olarak tanımlandığında bütün "özel modlar", rijit bölge özel modları ile rijit olmayan bölge özel modları olmak üzere iki kısma ayrılabilirler. Mod birleştirme yöntemiyle ele alınan rijit bodrumlu yapıların, rijit olmayan bölge özel modlarının rijit bölgedeki yer değiştirmeleri, buna karşılık rijit bölge özel modlarının rijit olmayan bölgedeki yer değiştirmelerinin sıfıra çok yakın olduğu kanıtlanmıştır. Bu özellik nedeniyle, rijit bölge özel modlarının belirlenmesinde, bütün sistem yerine sadece rijit bölgenin alınabileceği ve yine aynı özellik göz önüne alınarak rijit olmayan üst bölgenin özel modları belirlenirken, tüm sistem yerine rijit bölge üzerindeki (ankastre veya yarı ankastre) sadece üst yapının değerlendirmeye alınabileceği sonucuna varılabilir.

Uygulamada, genellikle etkilerinin daha büyük olduğu düşünülerek, büyük özel periyotlu birkaç özel mod ile yetinilmektedir. Düzenli yapılarda diğer özel modların etkileri çok küçük olmakla birlikte, rijit bodrumlu yapılarda durum böyle değildir. Zira bu durumda, rijit olmayan yapı üst bölümünün özel modlara ilişkin zemin altındaki atalet kuvvetleri hesaba katılmamış olmaktadır. Gerçekte bu tür sistemlerde, en küçük özel periyotlu modların etkisiyle, bodrum katlarda önemli derecede atalet kuvvetleri doğmaktadır. Bu bakımdan rijit bodrumlu yapıların mod birleştirme yöntemiyle yapılan deprem hesaplarında, tüm özel modların göz önüne alınması ve daha yakından incelenmesi gerektiği sonucuna varılabilir. Alt bölgenin yarı rijit olması durumunda da (katkıları önemli olabileceği için) bu bölgeye ilişkin bütün özel modlar dikkate alınmalıdır. Bunlar en küçük özel periyotlu modlar oldukları için, sisteme ait bütün özel modların bulunması yerine, en küçük özel moddan başlayan hesap yöntemlerinden yararlanılabilir. Bu halde, yarı rijit bölgeye ait özel periyot değerleri birbirlerine yakın olabileceklerinden, deprem etkisiyle oluşan herhangi bir F_i iç etkisinin maksimum değerlerinin bulunmasında, kareleri toplamının kare kökü yöntemi yerine özel modların karşılıklı etkilerini göz önüne alan başka yönetmelik bağlantılarından yararlanılabilir.

1997 yılında hazırlanan ve 01.01.1998 yılında yürürlüğe giren “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” in 6.6.1 maddesinde, deprem etkisi altındaki bina türünden yapıların taşıyıcı sisteminde, boyutlamaya esas olacak kesit etkilerinin hesaplanabilmesi için, farklı düzeyde üç çözümlenme yöntemi verilmiştir. Yönetmelikte bu yöntemler ; Bölüm 6.7’de verilen “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”, Bölüm 6.8’de verilen “Mod Birleştirme Yöntemi” ve Bölüm 6.9’da tanımlanan “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri”dir. Bu çalışmada, Bölüm 3’te verilen “düzlem çerçeve hesap modelleri”nin yönetmelikte tanımlanmış “Eşdeğer Deprem Yüğü” ve “Mod Birleştirme Yöntemi” hesap yaklaşımlarıyla, yine Bölüm 3’te verilen hesap kabullerinden yararlanılarak dinamik analizleri yapılmıştır. Söz konusu dinamik çözümlenmeler ışığında ; rijit ve yarı rijit bodrumlu düzlem çerçevelerin, yönetmelik’te belirtilen yöntemlere göre deprem etkisi altındaki davranışları incelenmiştir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’te “Mod Birleştirme Yöntemi” ve “Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” hesap yöntemleri ; bodrum katlardaki rijitliği üst katlara oranla çok büyük olmayan yapılar (yarı rijit bodrumlu yapılar) düşünülerek açıklanmış, bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerin

bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için ise, izlenecek hesap yöntemlerinde bazı değişiklikler öngörülmüştür. Ancak söz konusu “bodrum kat rijitliğinin üst katlara oranla çok büyük” söylemine, sayısal bir tanım getirilmemiştir. Bu çalışmada ele alınan düzlem hesap çerçevelerinin dinamik çözümlerinden elde edilen sonuçlarda, her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin aynı deprem etkisi altında birbirlerine göre bir miktar farklı bölgeleri tanımlamalarına karşın, güvenli bölgede kalmak koşuluyla bodrum katlardaki rijitliği üst katlara oranla 1-350 arasında değerler alan düzlem çerçevelerin “yarı rijit bodrumlu düzlem çerçeve” ve 350 - ∞ arasında değerler alan düzlem çerçevelerin ise “rijit bodrumlu düzlem çerçeveler” olarak kabul edilebilecekleri sonucuna varılmıştır.

Ele alınan düzlem hesap çerçevelerinin, öngörülen yöntemlerle yapılan dinamik hesap sonuçları esas alınarak hazırlanmış olan “hesap sonuç grafikleri” ve elde edilen diğer bazı bulgular aşağıdaki gibidir.

Düzlem hesap çerçevelerinin Modal Analiz Yöntemi’yle yapılan dinamik analizleri sonucu elde edilen hesap sonuç grafik (Şekil 4.1,2,3,4,5,6 ve Şekil 4.19,20,21,22,23,24) ve çizelgeleri (Çizelge 4.1,2,3) incelendiğinde ;

1. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modelleri M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrilerinin, farklı sayısal değerlerde olmalarına karşın, birbirleriyle aynı davranışı gösterdikleri gözlenmiştir. Her iki düzlem hesap çerçevesine ait M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrileri, bodrum kat eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında maksimum değerlerine ulaşmış, eğilme rijitliğinin 350 - ∞ değer aralığında ise bu maksimum değerde sabit kalmışlardır. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi’ ne ait M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrileri ise, bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında, diğer iki düzlem hesap çerçevesine benzer şekilde maksimum değerlerini almışlardır. Ancak, diğer iki düzlem hesap çerçevesinden farklı olarak M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrileri, artan eğilme rijitliği değerlerinde bu maksimum değerlerde sabit kalmayarak, azalma eğilimi göstermiştir.
2. Tüm düzlem hesap çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemi uygulanarak elde edilen M_t (taban) hesap sonuç eğrileri, aldıkları en büyük sayısal değerler açısından büyükten küçüğe doğru sıralanacak olursa ;

1. 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi
2. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi
3. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi

şeklinde oluşacaktır. Hesap sonuç grafikleri ; normalize edilmiş değerler esas alınarak hazırlandığı için sıralama bu biçimde olmuştur. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3' te verilen gerçek Mt (taban) değerlerine bakılacak olursa, bu sıralamanın beklendiği üzere 2 – 1 – 3 şeklinde olduğu görülecektir. Vt (taban) hesap sonuç eğrilerinin aldıkları en büyük sayısal değerler için aynı sıralama yapılırsa, bu sıralama 3 – 1 – 2 şeklinde olacaktır. Hesap çizelgelerinde verilen gerçek Vt (taban) değerleri incelendiğinde, bu sıralamanın da 2 – 1 – 3 şeklinde olduğu görülür. Böylece, bodrum kat kütlelerinin ; düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı bölgesine ait kesit tesiri değerlerine yaptıkları katkının, düzlem çerçevelerin bodrum kat eğilme rijitliği ve düzlem çerçevelere ait doğal titreşim periyodu değerlerinin aynı kesit tesirlerine olan katkıları yanında daha az etkili oldukları söylenebilir.

3. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modellerinin zemin ve son katlarına ait Mt ve Vt hesap sonuç eğrileri, farklı sayısal değerlerde olmalarına karşın, birbirleriyle aynı davranışı göstermektedir. Her iki düzlem hesap çerçevesinin zemin ve son katlarına ait Mt ve Vt hesap sonuç eğrileri, bodrum kat eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında maksimum değerlerine ulaşmış ; eğilme rijitliğinin 350 - ∞ aralığında ise, arttırılan rijitliğin yanında ihmal edilebilecek oranda, çok küçük bir azalma göstererek, sonsuz eğilme rijitliği bölgesinde aynı sayısal değere ulaşmışlardır. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli de, diğer iki düzlem hesap çerçevesinde olduğu gibi, relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında maksimum değerine ulaşmıştır. Bu hesap çerçevesinin ulaştığı en büyük zemin ve son kata ait hesap sonuç değerleri, diğer iki düzlem hesap çerçevesi modellerinin ulaştıkları maksimum değerlerden oldukça büyüktür. Ayrıca 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modeli zemin ve son katlara ait hesap sonuç eğrilerinin, bodrum kat eğilme rijitliğinin 350 - ∞ değer aralığında azalma eğilimine girerek, ∞ eğilme rijitliği bölgesinde diğer iki düzlem hesap çerçevesi modelleri için elde edilen aynı sayısal değeri aldıkları tespit edilmiştir. Bu saptamanın sonucunda, düzlem hesap çerçevelerinin bodrum katlarına ait kat kütlelerinin ; çerçevelerin zemin altı bölgesinin yarı rijit olması halinde düzlem

çerçevelerin zemin üstü kısımlarına ait kesit tesiri değerlerinde etkili oldukları, ancak zemin altı bölgesinin tam rijit olması durumunda aynı kesit tesiri değerlerine olan katkılarının önemli olmadığı sonucuna varılabilir.

4. Tüm düzlem hesap çerçevelerinin zemin üstü bölgelerine ait Mod Birleştirme Yöntemi hesap sonuç eğrileri, aldıkları maksimum değerlere göre büyükten küçüğe doğru sıralanırsa ;

1. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi

2. 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi

3. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi

olacaktır. Bu sıralamanın, zemin altı bölgesine ilişkin hesap sonuç eğrilerinden farklı olarak, beklendiği şekilde oluşmasının nedeni de ; bütün düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü bölgelerine ait geometrik ve dinamik özelliklerinin birbirleriyle aynı olmasıdır.

Düzlem hesap çerçevelerinin EDY Yöntemi ile yapılan dinamik analizleri sonucu elde edilen hesap sonuç grafik (Şekil 4.7,8,9,10,11,12 ve Şekil 4.19,20,21,22,23,24) ve çizelgeleri (Çizelge 4.4,5,6) incelendiğinde ;

5. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modelleri M_t (taban) hesap sonuç eğrilerinin, madde 1 ve madde 2' de açıklanan Modal Analiz Yöntemi ile elde edilen M_t (taban) hesap sonuç eğrileriyle tamamen aynı davranışı gösterdikleri ; ayrıca EDY Yöntemi ile elde edilen M_t (taban) hesap sonuç değerlerinin Modal Analiz Yöntemi'yle elde edilen M_t (taban) değerlerinden daha büyük oldukları saptanmıştır. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modeli M_t (taban) hesap sonuç eğrisi ise, eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen hesap sonuç eğrisiyle aynı davranışı göstermekte olup ; rijitliğin 350 - ∞ değerleri arasında , Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç eğrisinden farklı olarak azalma eğilimi göstermemiş ve maksimum değerinde sabit kalmıştır. Yapılan bu saptamalar bağlamında bu sonucun, tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin V_t (taban) hesap sonuç eğrileri için de geçerli olduğu söylenebilir. Ayrıca, her iki yöntem için ayrı ayrı elde edilen V_t (taban) hesap sonuç değerleri karşılaştırıldığında ; Modal Analiz Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç eğrilerinin maksimum değerlerinin her bir düzlem hesap çerçevesi

modeli için farklı sayısal değerde olduğu, buna karşılık EDY Yöntemi ile elde edilen V_t (taban) hesap sonuç eğrilerinin maksimum değerlerinin ise, tüm düzlem hesap çerçevesi modelleri için aynı sayısal değerde olduğu (1.226) saptanmıştır. Yöntemler arasındaki bu farkın ; katlara etkiyen deprem yükleri ve kesit tesirleri hesaplanırken, Mod Birleştirme Yöntemi'nde her bir özel moda ilişkin doğal titreşim periyodu değerlerinin, EDY Yöntemi'nde ise sadece düzlem hesap çerçevelerin birinci doğal titreşim periyodu değerinin göz önüne alınması nedeniyle olduğu sonucuna varılmıştır.

6. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modellerinin zemin ve son katlarına ilişkin M_t ve V_t hesap sonuç eğrilerinin, madde 3 ve 4'te verilen Modal Analiz Yöntemi'yle elde edilmiş hesap sonuç eğrileriyle tamamen aynı davranışı gösterdiği ve taban bölgesinde olduğu gibi bu bölgelerde de, EDY Yöntemi'yle elde edilen hesap sonuç değerlerinin Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen hesap sonuç değerlerinden daha büyük oldukları saptanmıştır. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modelinin zemin ve son katlarına ilişkin hesap sonuç eğrileri (M_t , V_t) ise, relatif taban eğilme rijitliğinin 350 - ∞ değerleri arasında, Mod Birleştirme Yöntemi'yle elde edilen hesap sonuç eğrisinden farklı ve azalma eğilimi göstermeyerek, maksimum değerde sabit olarak kalmıştır.

Düzlem hesap çerçevelerinin TDY Yöntemi ile yapılan deprem analizleri sonucu elde edilen hesap sonuç grafik (Şekil 4.13,14,15,16,17,18 ve Şekil 4.19,20,21,22,23,24) ve çizelgeleri (Çizelge 4.7,8,9) incelendiğinde ;

7. Madde 1' de belirtilen Modal Analiz Yöntemi'nde olduğu gibi ; TDY Yöntemi'yle ele alınan tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrileri de, farklı sayısal değerlerde olmalarına karşın, birbirleriyle aynı davranışı göstermektedirler. Bütün düzlem hesap çerçevesi modellerinin M_t (taban) hesap sonuç eğrileri, diğer hesap yöntemlerinde olduğu gibi bodrum kat eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında maksimum değerlerine ulaşmış, eğilme rijitliğinin 350 - ∞ değer aralığında ise bu maksimum değerde sabit olarak kalmışlardır. Aynı düzlem hesap çerçevesi modellerinin V_t (taban) hesap sonuç eğrileri ise, diğer iki hesap yöntemleriyle elde edilen V_t (taban) hesap sonuç eğrilerinden farklı olarak, relatif eğilme rijitliğinin herhangi bir değerinde aynı sabit değeri (her düzlem hesap çerçevesi modeli için farklı sayısal değer olmak üzere) almışlardır. TDY Yöntemi'yle

elde edilen V_t (taban) hesap sonuç eğrilerinin bu türden davranışlarının nedeni ise ; bu hesap yöntemiyle yapılan analizlerin, düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü ve zemin altı kısımları için ayrı ayrı yapılarak, elde edilen hesap sonuçlarının “Karelerinin Toplamının Karekökü Yöntemi” ile birleştirilmesidir. Çalışmanın önceki bölümlerinde açıklandığı gibi ; düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü kısımlarına ait tüm geometrik ve dinamik parametrelerinin, birbirleriyle aynı olduğu belirtilmiştir. Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’ da verilen hesap sonuçları incelendiğinde, düzlem hesap çerçevelerinin zemin üstü kısımlarına ait birinci doğal titreşim periyodu değerinin bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin tüm değerleri için 0.7271 sn ve bu periyot değerine karşılık gelen spektrum katsayısının ise $S(T) = 2.5$ olduğu görülecektir. Dolayısıyla tüm düzlem hesap çerçevelerinin, bu çalışmada irdelenen her bir bölgesi için hesaplanan V_t kat kesme kuvveti değerleri, relatif eğilme rijitliğinin herhangi bir değerinde birbirleriyle aynı olacaktır. Düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı bölgesi için yapılan analizlerde ; bu bölge için doğal titreşim periyodu değeri hesaplanmaması ve spektrum katsayısının $S(T) = 1$ alınarak bu bölgeye etkiyen deprem kuvvetlerinin $F_i = A_o I w_{bk} / 1.5$ formülüyle hesaplanması öngörüldüğünden ; düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı bölgesi için elde edilen V_t kat kesme kuvveti değerleri, her düzlem çerçeve hesap modeli için relatif eğilme rijitliğinin herhangi bir değerinde sabit olarak ancak farklı sayısal değerlerde elde edilmiştir. Bütün düzlem hesap çerçevelerinin TDY Yöntemi ile elde edilen M_t (taban) ve V_t (taban) hesap sonuç eğrilerinin büyükten küçüğe doğru sıralamasının da ;

1. 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25 t Düzlem Hesap Çerçevesi
2. 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi
3. Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi

şeklinde olduğu saptanmıştır.

8. Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin ve son katlarına ilişkin M_t hesap sonuç eğrilerinin ; relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında maksimum değerlerine ulaştıkları, rijitliğin 350 - ∞ bölgesinde ise artan eğilme rijitliği yanında ihmal edilebilecek mertebede küçük bir artış göstererek, sonsuz eğilme rijitliği bölgesinde aynı sayısal değeri aldıkları saptanmıştır. Bütün düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin ve son katlarına ilişkin V_t hesap sonuç eğrilerinin ise, relatif taban

eğilme rijitliğinin her bir değeri için aynı sabit değeri aldıkları saptanmıştır. Vt hesap sonuç eğrilerinin bu davranışlarının nedeni, madde 7'de açıklandığı gibidir. Ayrıca 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modellerinin zemin üstü kısımlarına ilişkin tüm geometrik ve dinamik özellikleri aynı olduğundan ; bu hesap çerçevelerinin zemin üstü kısımlarına ait TDY Yöntemi analiz sonuçları da birbirinin aynıdır.

Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin, çalışmada ele alınan bütün dinamik hesap yöntemleri ile yapılan deprem analizleri sonucunda elde edilen hesap sonuç grafikleri (Şekil 5.1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18) incelendiğinde ;

9. Ele alınan tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin üç farklı dinamik analiz yöntemiyle yapılan deprem hesapları sonucunda ; bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin $350 - \infty$ değer aralığı için, düzlem çerçevelerin zemin üstü kısımlarına ilişkin hesaplanan en büyük değerler göz önüne alınarak, büyükten küçüğe doğru sıralama yapılırsa ;

1. EDY
2. TDY
3. MODAL

elde edilecektir. Ayrıca tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin zemin üstü bölgelerine ilişkin üç farklı dinamik hesap yöntemi ile hesaplanan bütün kesit tesiri değerlerinin, bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin $0 - 350$ aralığında maksimum değerlerini aldıkları saptanmıştır. Bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin $0 - 350$ değer aralığında hesaplanan en büyük kesit tesiri değerlerine göre büyükten küçüğe sıralama yapıldığında ise, Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modelleri için ;

1. EDY
2. TDY
3. MODAL

3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modeli için de ;

1. EDY
2. MODAL
3. TDY

elde edilmiştir.

10. Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin, çalışmada ele alınan üç farklı dinamik analiz yöntemiyle yapılan deprem hesapları sonucunda ; her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin zemin altı bölgesine ilişkin hesaplanan kesit tesiri değerlerinin, düzlem çerçevelerin zemin üstü bölgesinde olduğu gibi, bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 değer aralığında maksimum değerlerini aldıkları saptanmıştır. Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin, bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 ve 350 - ∞ değerleri arasında, tüm dinamik hesap yöntemleriyle elde edilen ; zemin altı bölgesine ilişkin maksimum kesit tesiri değerleri büyükten küçüğe sıralanırsa, Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi ve 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi modelleri için ;

1. EDY
2. TDY
3. MODAL

3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi modeli için de ;

1. TDY
2. EDY
3. MODAL

olacaktır.

Çalışmada ele alınan düzlem hesap çerçevesi modellerine ilişkin, deprem yönetmeliğinde verilen üç farklı dinamik hesap yöntemiyle elde edilen, hesap sonuç grafiklerinin birbirlerine çok benzer davranışlar gösterdikleri tespit edilmiştir. Hesap sonuç grafiklerinin birbirlerine benzer davranışlar göstermesi, bu üç farklı dinamik hesap yöntemi arasında bir ilişki

olabileceğini düşündürmektedir. Bu düşünceyle ; her bir düzlem hesap çerçevesi modelinin EDY ve TDY hesap yöntemleri ile elde edilen deprem analizi sonuçları, aynı düzlem hesap çerçevesi modellerinin Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan normalize kesit tesiri değerlerine bölünerek Şekil 5.19,20,21,22,23,24' te verilen grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde ;

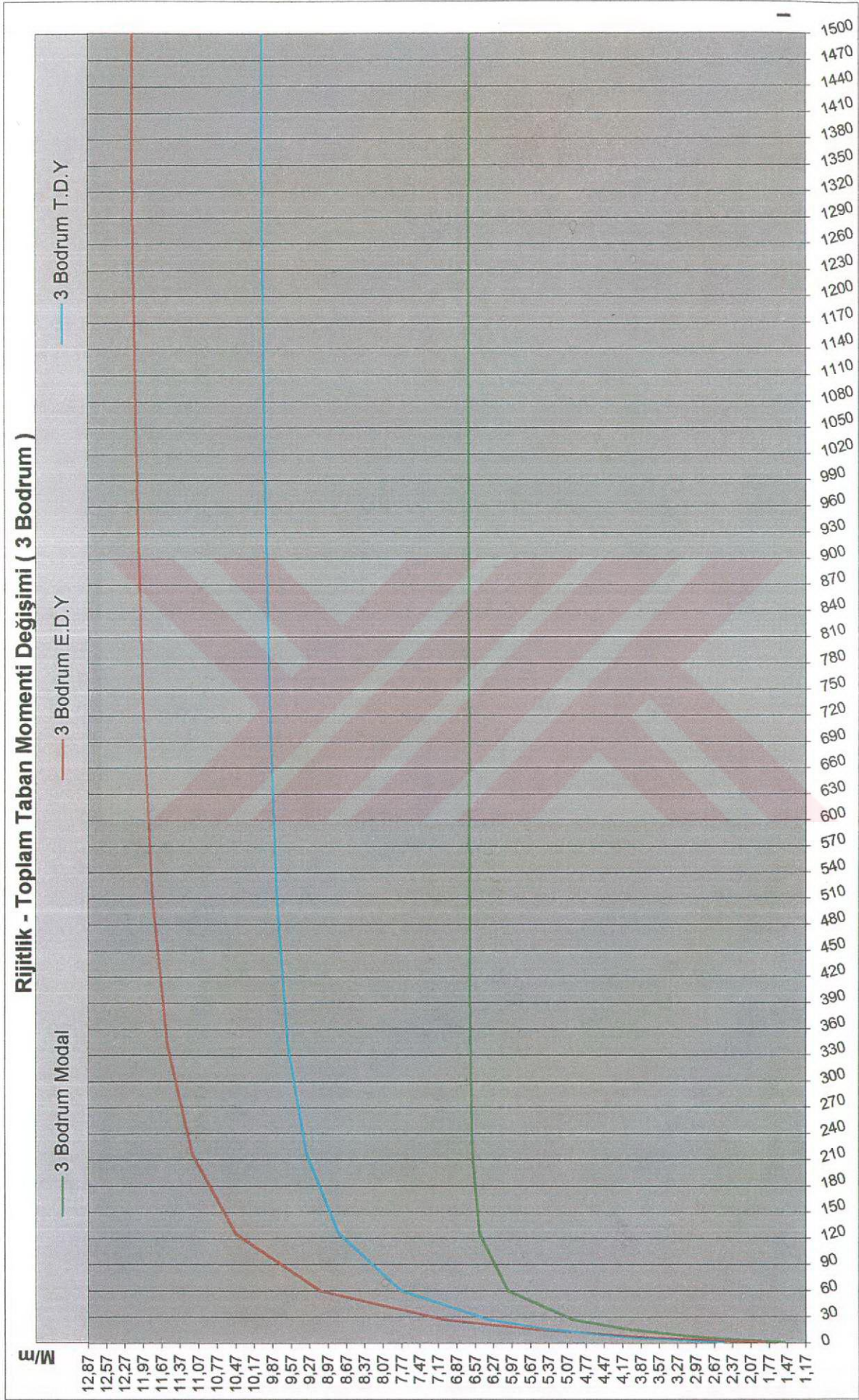
11. Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerine ilişkin üç farklı dinamik hesap yöntemi ile elde edilen hesap sonuç eğrilerinin birbirlerine çok benzer davranışlar gösterdikleri gözlenmiş ; ancak dinamik hesap yöntemleri arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak ifade edebilecek bir korelasyon hesaplanamamıştır.
12. Bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin herhangi bir değeri için ; tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin EDY Yöntemi ile elde edilen kesit tesiri değerlerinin, Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan kesit tesiri değerlerinden daha büyük oldukları saptanmıştır(Şekil 5.19,21,23). Buna karşılık bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin 0 – 350 değerleri arasında ; düzlem hesap çerçevesi modellerinin TDY Yöntemi ile elde edilen zemin üstü bölgesine ilişkin kesit tesiri değerlerinin, Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan zemin üstü bölgesine ilişkin kesit tesiri değerlerinden küçük olabildiği tespit edilmiştir(Şekil 5.22). Ancak bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin 350 - ∞ değer aralığında ; tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin TDY Yöntemi ile hesaplanan zemin üstü bölgesine ilişkin kesit tesiri değerlerinin, Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen kesit tesiri değerlerine, aynı düzlem hesap çerçevesi bölgesi için EDY Yöntemi ile elde edilen analiz sonuçlarına göre, daha yakın olduğu saptanmıştır.

Bu yaklaşımlar bağlamında ;

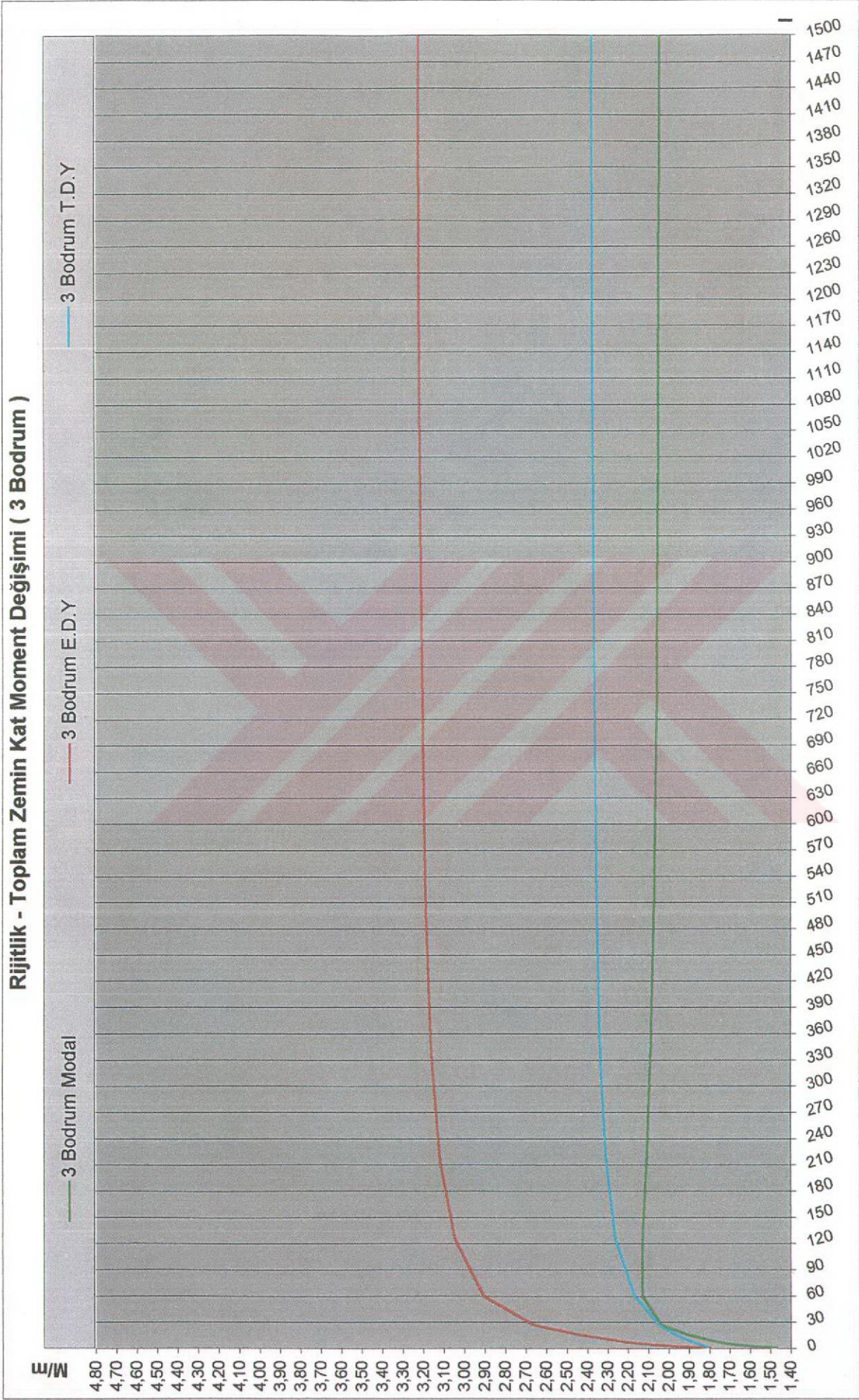
- Çalışmada ; düzlem çerçevelerin deprem etkisi altındaki davranışlarının, salt bodrum kat relatif eğilme rijitliği bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenebilmesi için Şekil 3.1'de verilen “3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli” ve Şekil 3.3'te verilen “Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeli” hesap modelleri tasarlanmıştır. Her iki düzlem hesap çerçevesi modelleri çözümlenmeleriyle elde edilmiş hesap sonuçlarından, aynı deprem etkisi altındaki düzlem hesap çerçevesi modellerinin birbirleriyle ilişkili olduklarını düşündürecek kadar yakın davranışlar gösterdikleri saptanmış ancak bu ilişkiyi belirgin olarak tanımlayan matematiksel bir korelasyon bulunamamıştır.

- Tüm düzlem hesap çerçevesi modellerinin, üç farklı çözümleme yöntemi (MODAL, EDY, TDY) ile elde edilen dinamik hesap sonuç grafik ve çizelgelerinden ; düzlem hesap çerçevesi modellerinin, relatif bodrum kat eğilme rijitliğinin herhangi bir değeri için, zemin altı bölgesine ilişkin Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç değerlerinin, TDY ve EDY Yöntemleri ile elde edilen hesap sonuç değerlerinden her zaman daha küçük olacağı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bodrum kat relatif eğilme rijitliğinin herhangi bir değeri için, düzlem hesap çerçevelerinin zemin üstü bölgelerine ilişkin EDY Yöntemi ile bulunan hesap sonuç değerleri, Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç değerlerinden daima çok büyük olarak hesaplanacaktır. Bodrum kat eğilme rijitliğinin $350 - \infty$ değer aralığında, düzlem hesap çerçevelerinin zemin üstü kısımlarına ilişkin TDY Yöntemi hesap sonuç değerleri, EDY Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç değerlerinden daha küçük ve Mod Birleştirme Yöntemi hesap sonuç değerlerine daha yakın olarak elde edilecektir. Zemin altı bölgesinde, zemin üstü bölgesine göre çok daha büyük kat kütlelerine sahip ve bodrum kat relatif eğilme rijitliği $0 - 350$ değer aralığında olan düzlem hesap çerçevesi modellerinin, zemin üstü kısımlarına ilişkin TDY Yöntemi ile hesaplanan hesap sonuç değerleri, bu türden düzlem hesap çerçevelerinin Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen hesap sonuç değerlerinden daha küçük olarak hesaplanabilecektir. Yukarıda açıklanan görüşler ışığında düzlem hesap çerçevelerinin deprem hesaplarının ; düzlem çerçevelerin rijit bölümlerine ilişkin tüm mod katkıları göz önüne alınarak “Mod Birleştirme Yöntemi” ile yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Düzlem hesap çerçevelerine ilişkin deprem hesaplarının eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılması tercih edilirse ; deprem analizlerinin, düzlem hesap çerçevelerinin zemin altı bölgesi eğilme rijitliğinin zemin üstü bölgesi eğilme rijitliğine oranının $0 - 350$ değerleri arasında EDY Yöntemi, $350 - \infty$ değerleri arasında ise TDY Yöntemi ile yapılması önerilecektir.

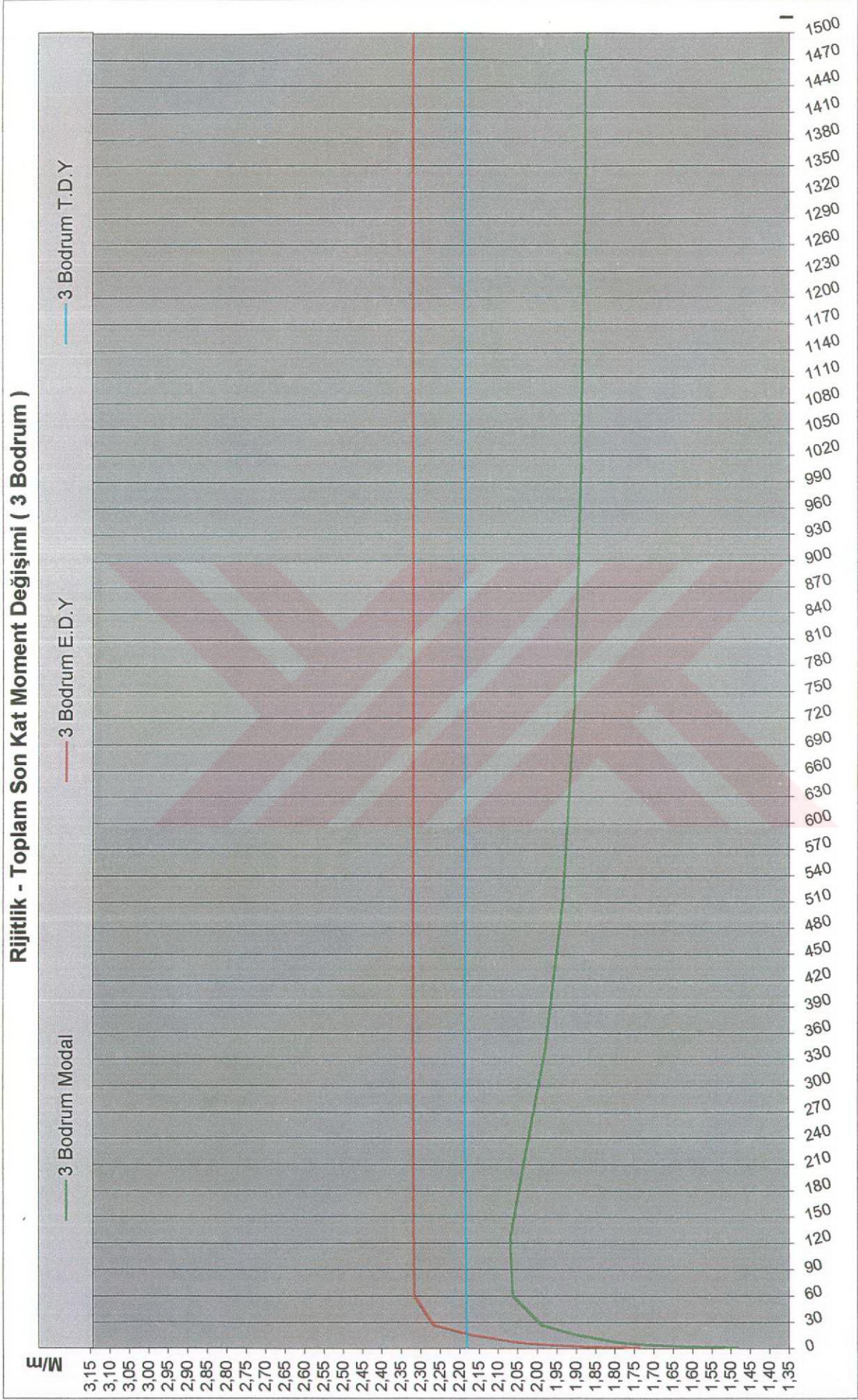
Yapılan hesaplar ve karşılaştırmalı analitik değerlendirmeler ışığında varılan sonuçlar ve elde edilen bulgulara göre ; Deprem Yönetmeliği'nde verilen hesap yöntemleri bağlamında, rijit ve yarı rijit bodrumlu yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarını inceleyen bu çalışmanın, “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri”ni de kapsayacak biçimde, “üç boyutlu hesap modelleri” kullanılarak ve bu hesap modellerini çok az hesap kabulü ile modellenmesini sağlayacak bir bilgisayar hesap yazılımı ile yapılan analizlerle ; daha kapsamlı başka bir araştırmanın daha ele alınmasının uygun ve yararlı olacağı görüşümdedir.



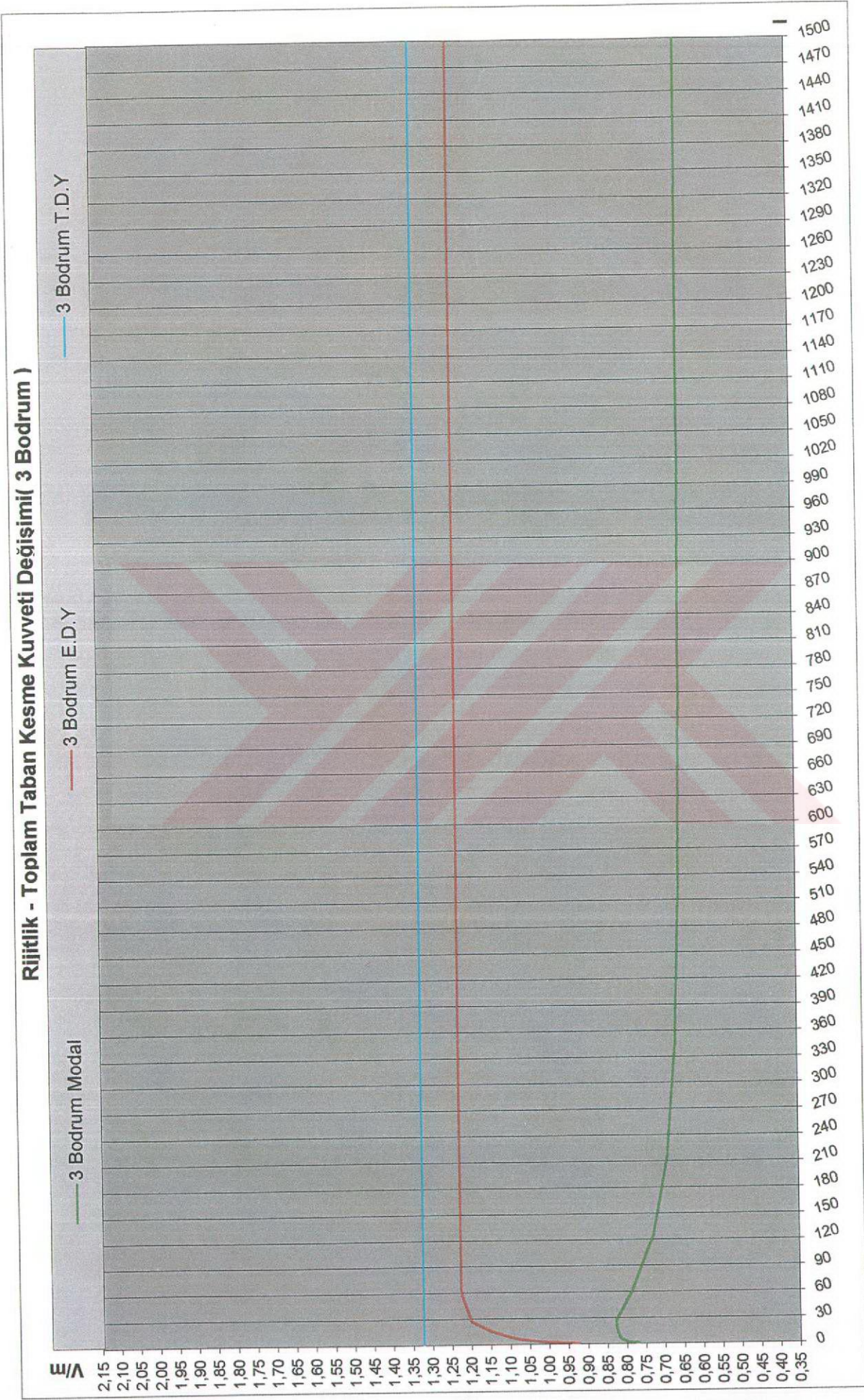
Şekil 5.1 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Taban Momenti Değişimi Grafığı



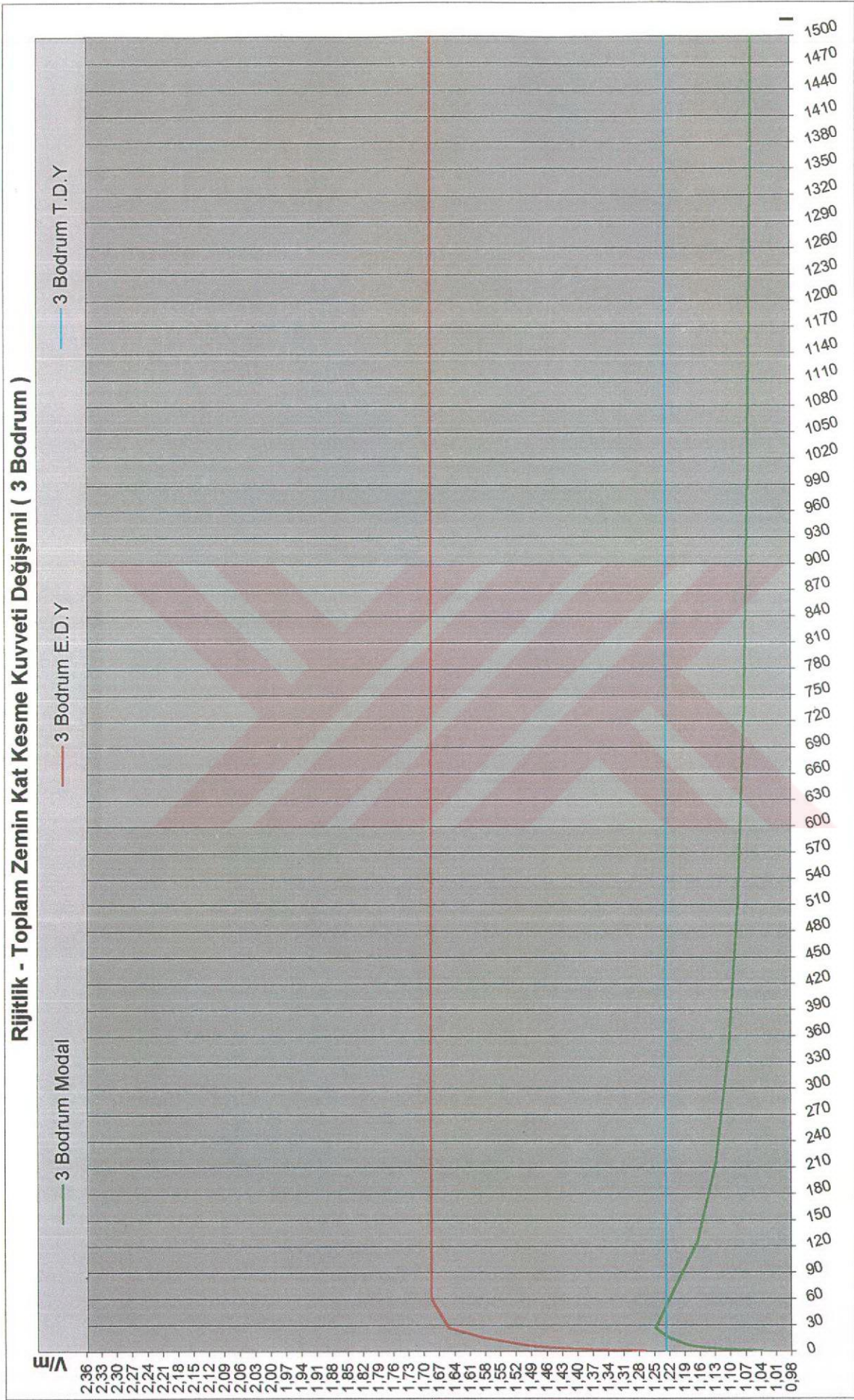
Şekil 5.2 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



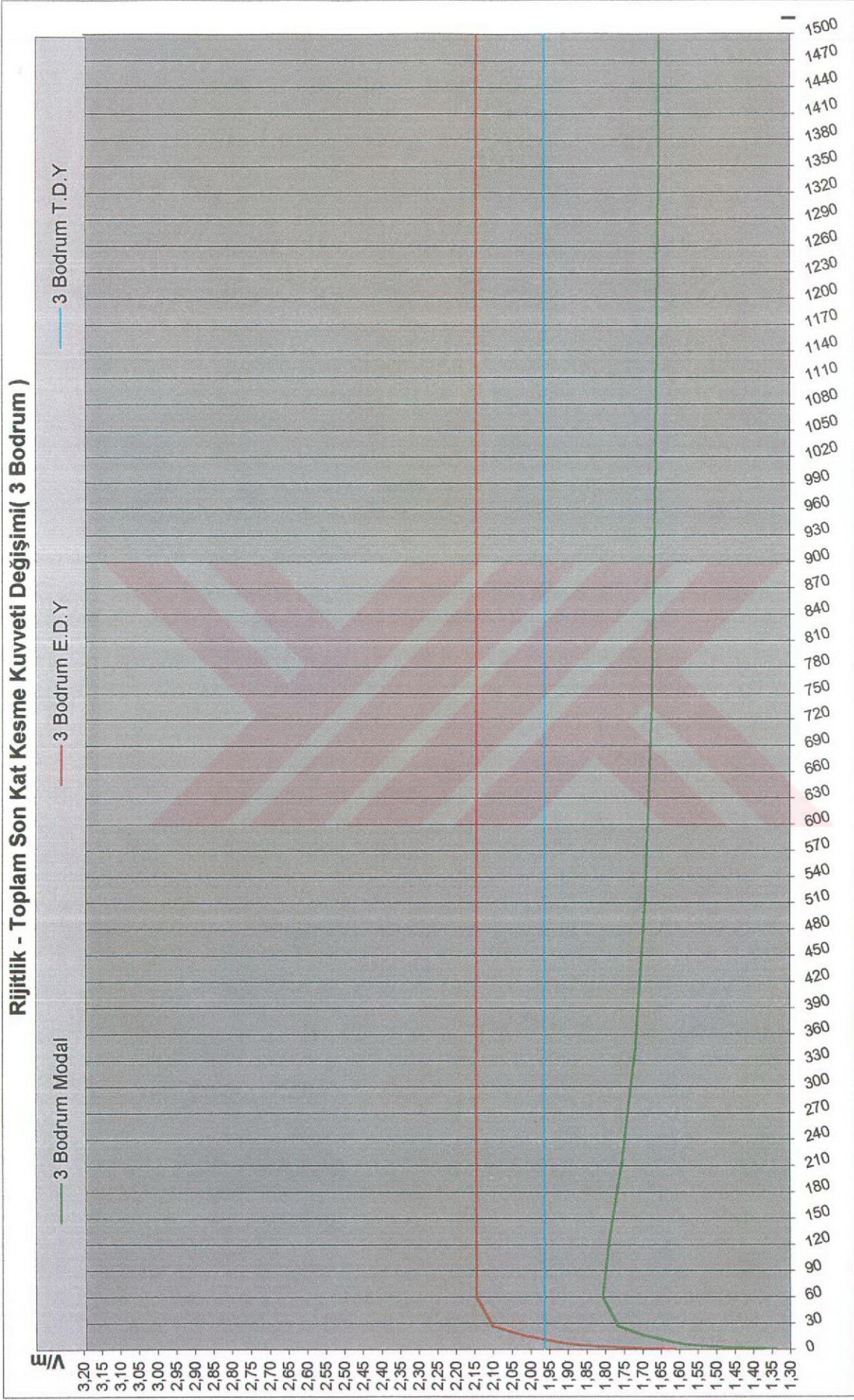
Şekil 5.3 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



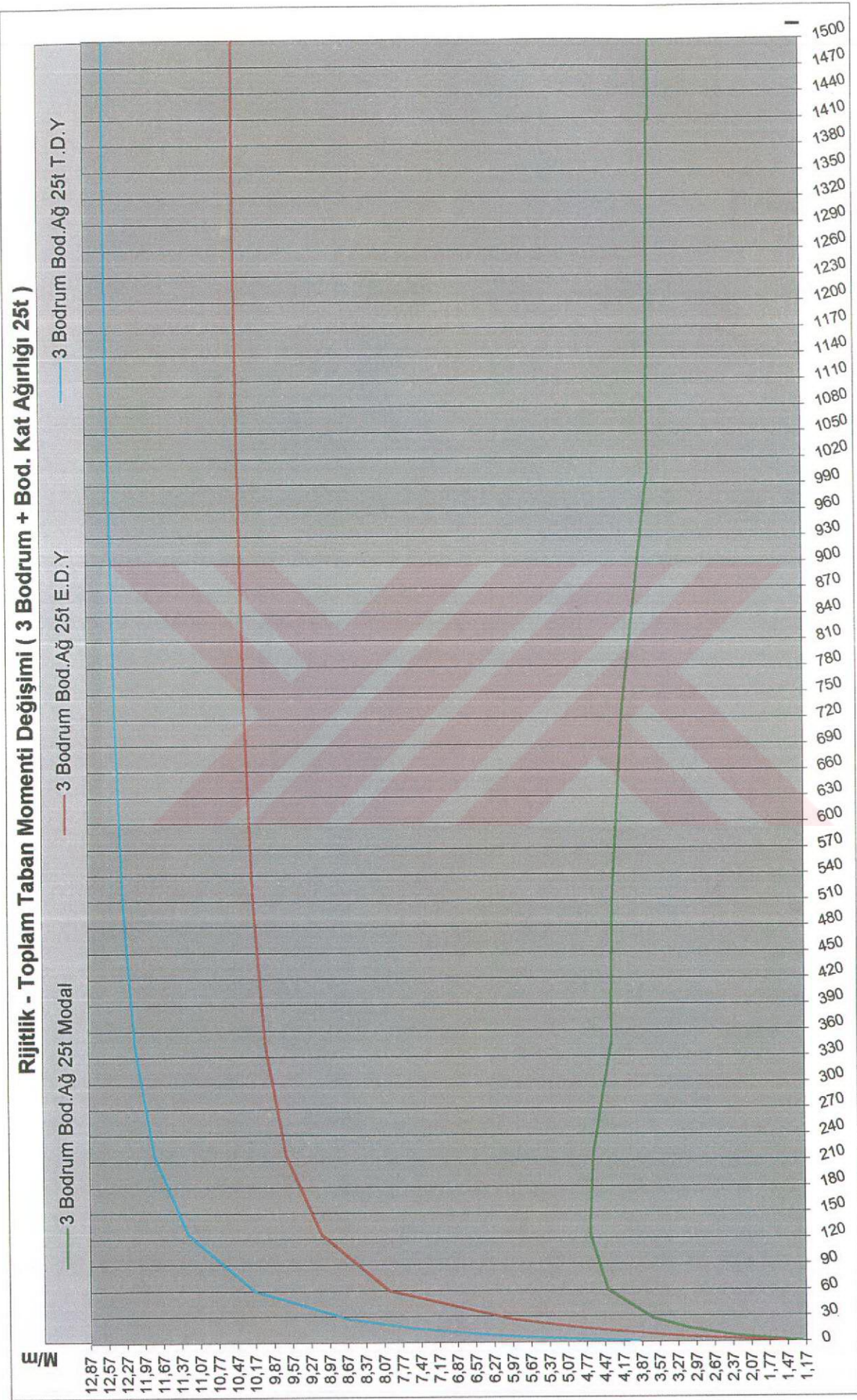
Şekil 5.4 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiki



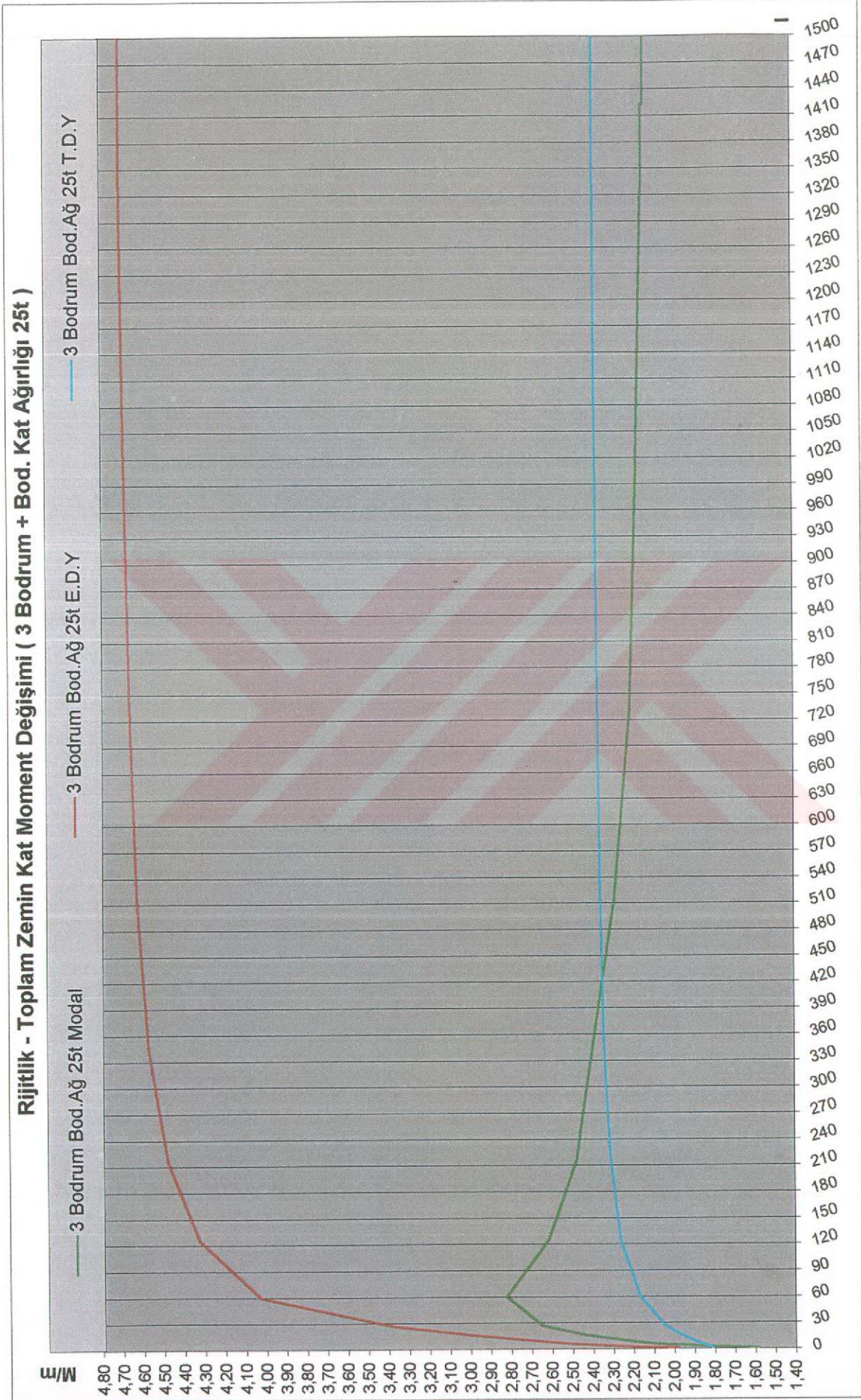
Şekil 5.5 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



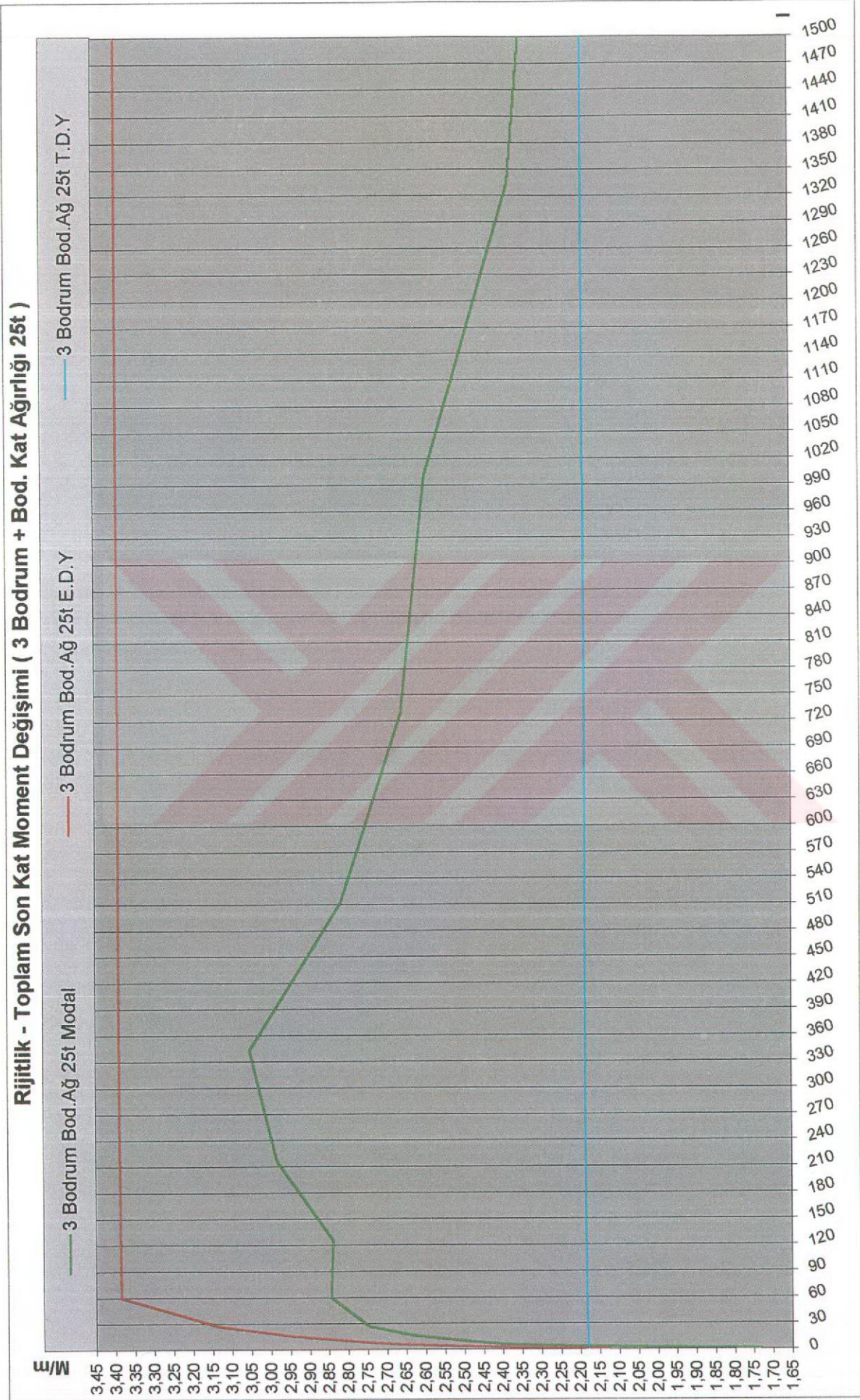
Şekil 5.6 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



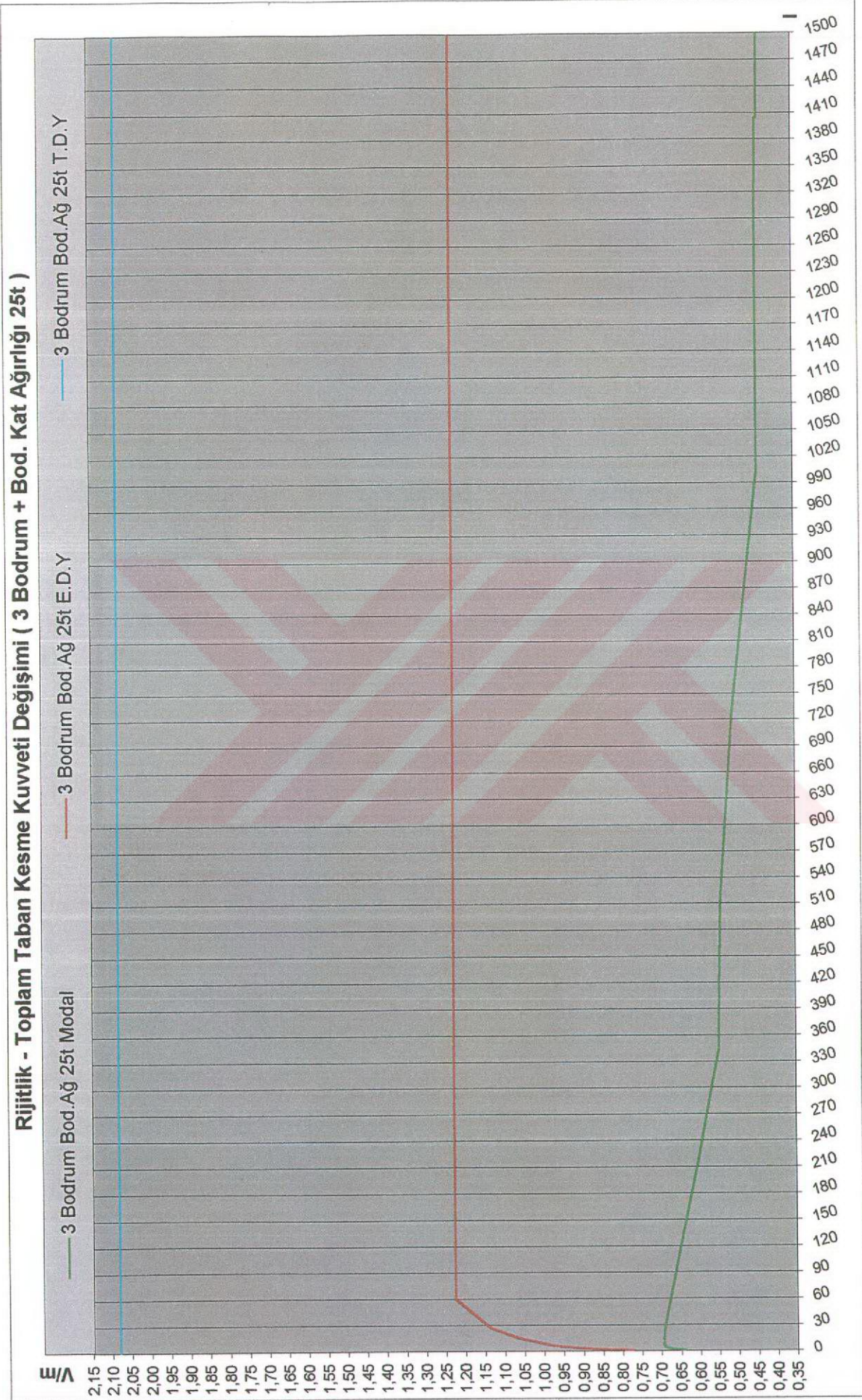
Şekil 5.7 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafiği



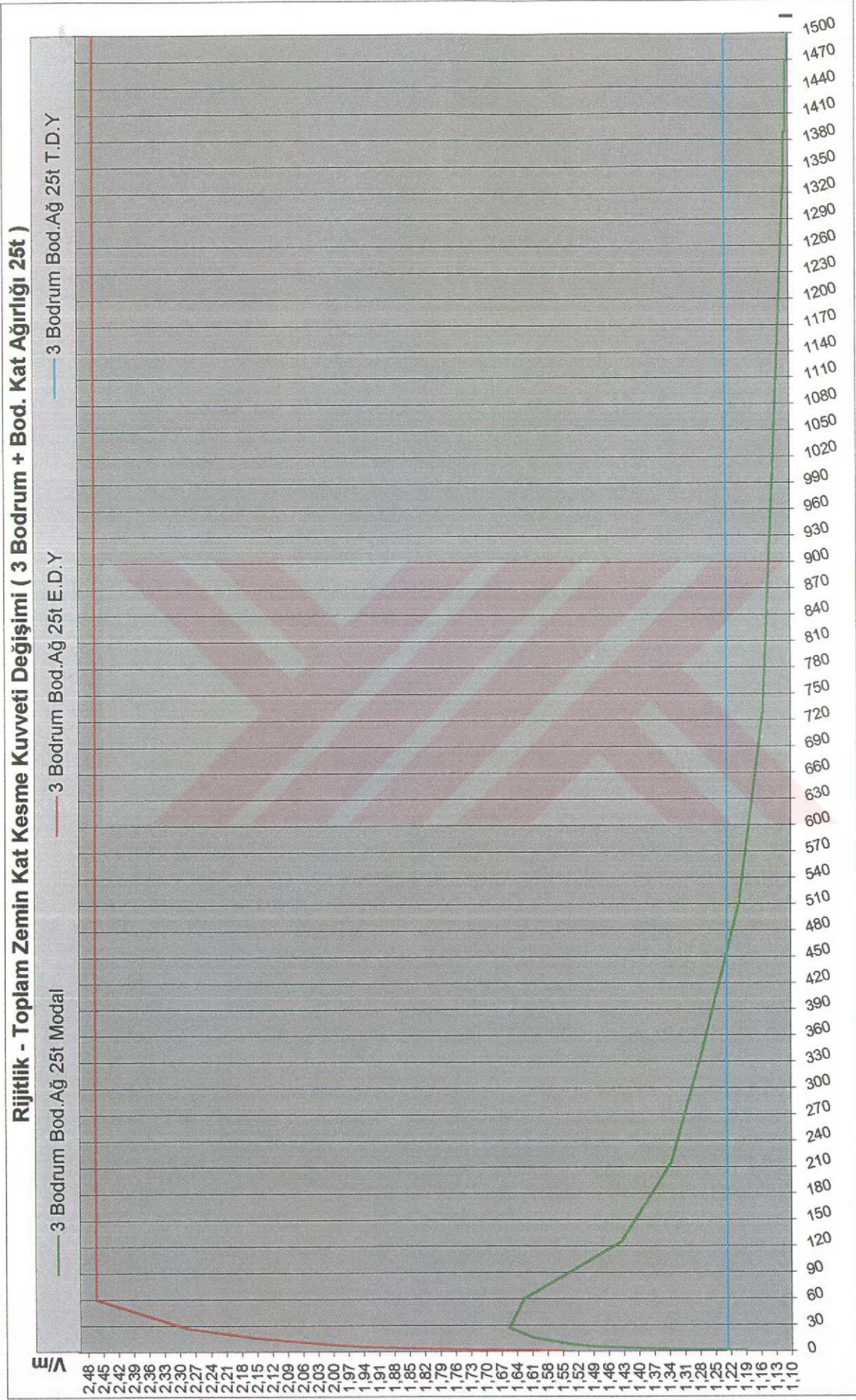
Şekil 5.8 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



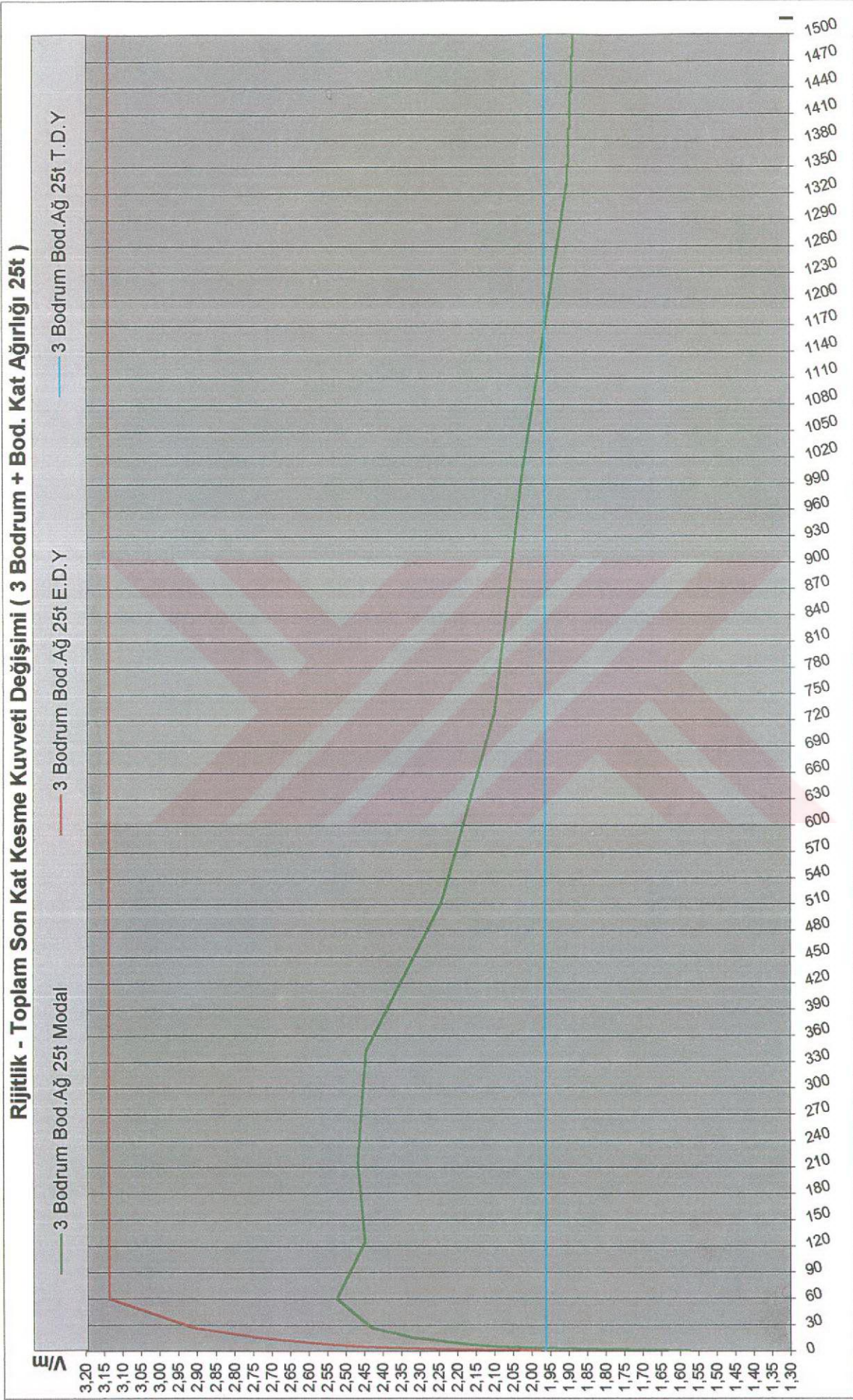
Şekil 5.9 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



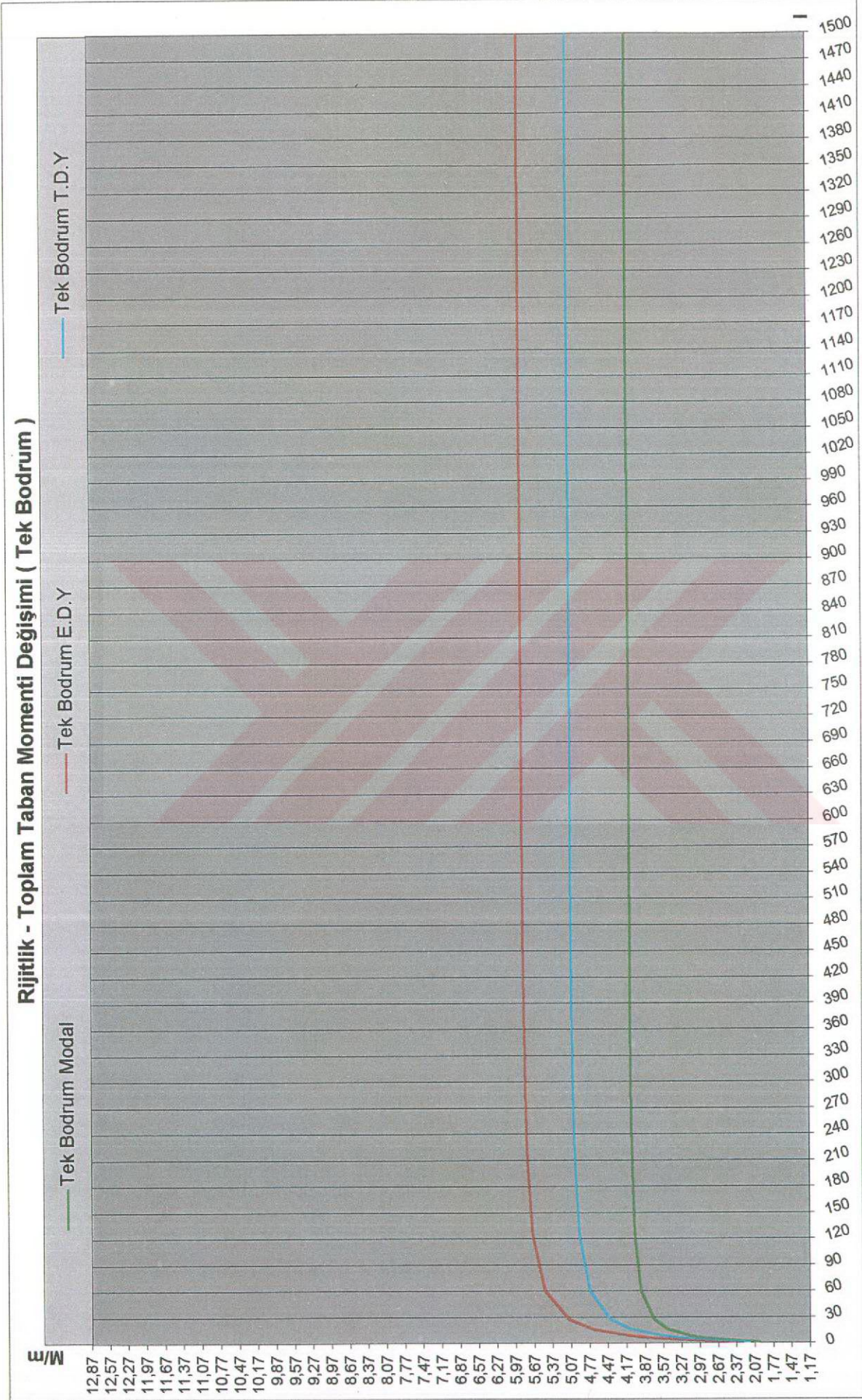
Şekil 5.10 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



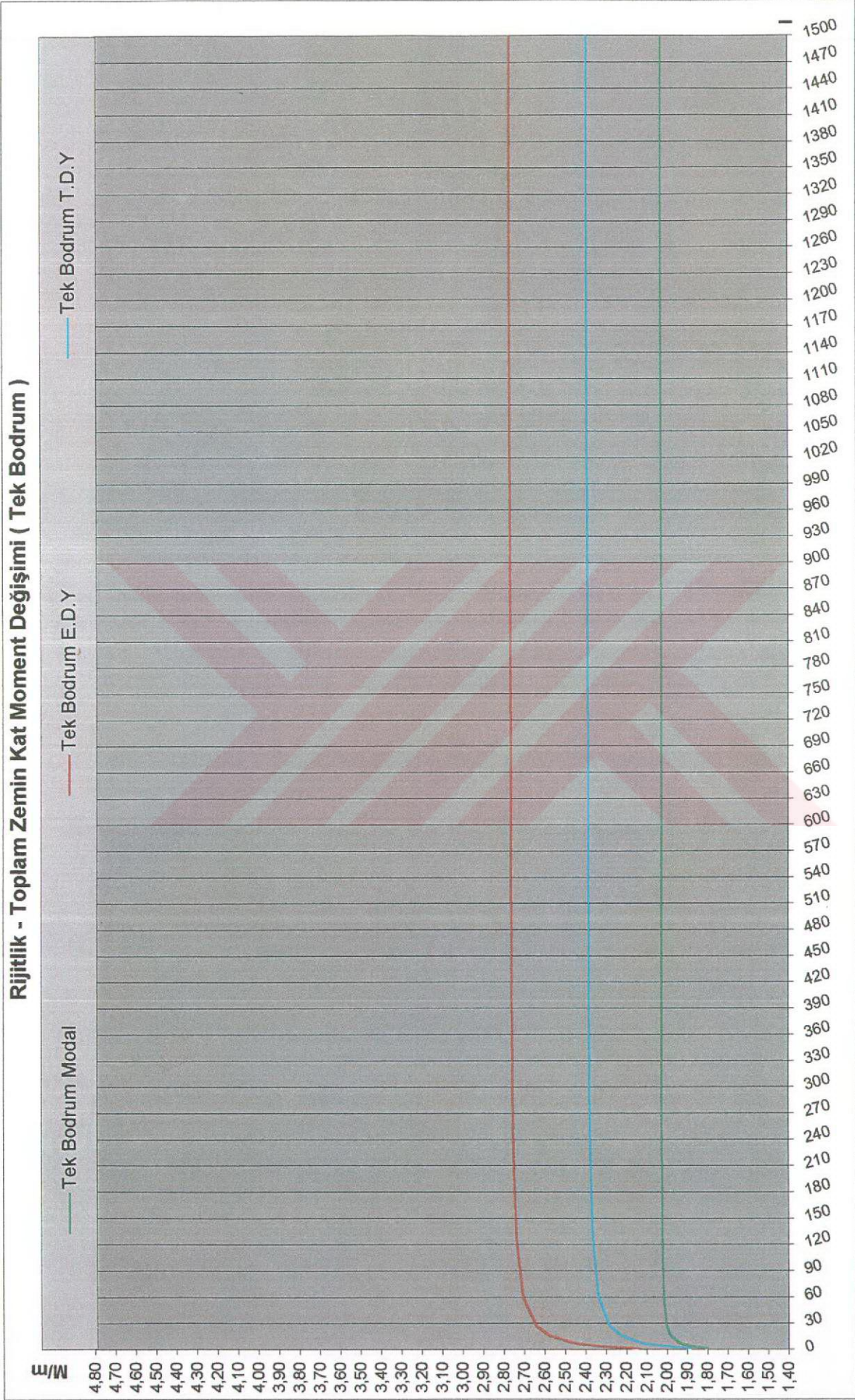
Şekil 5.11 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



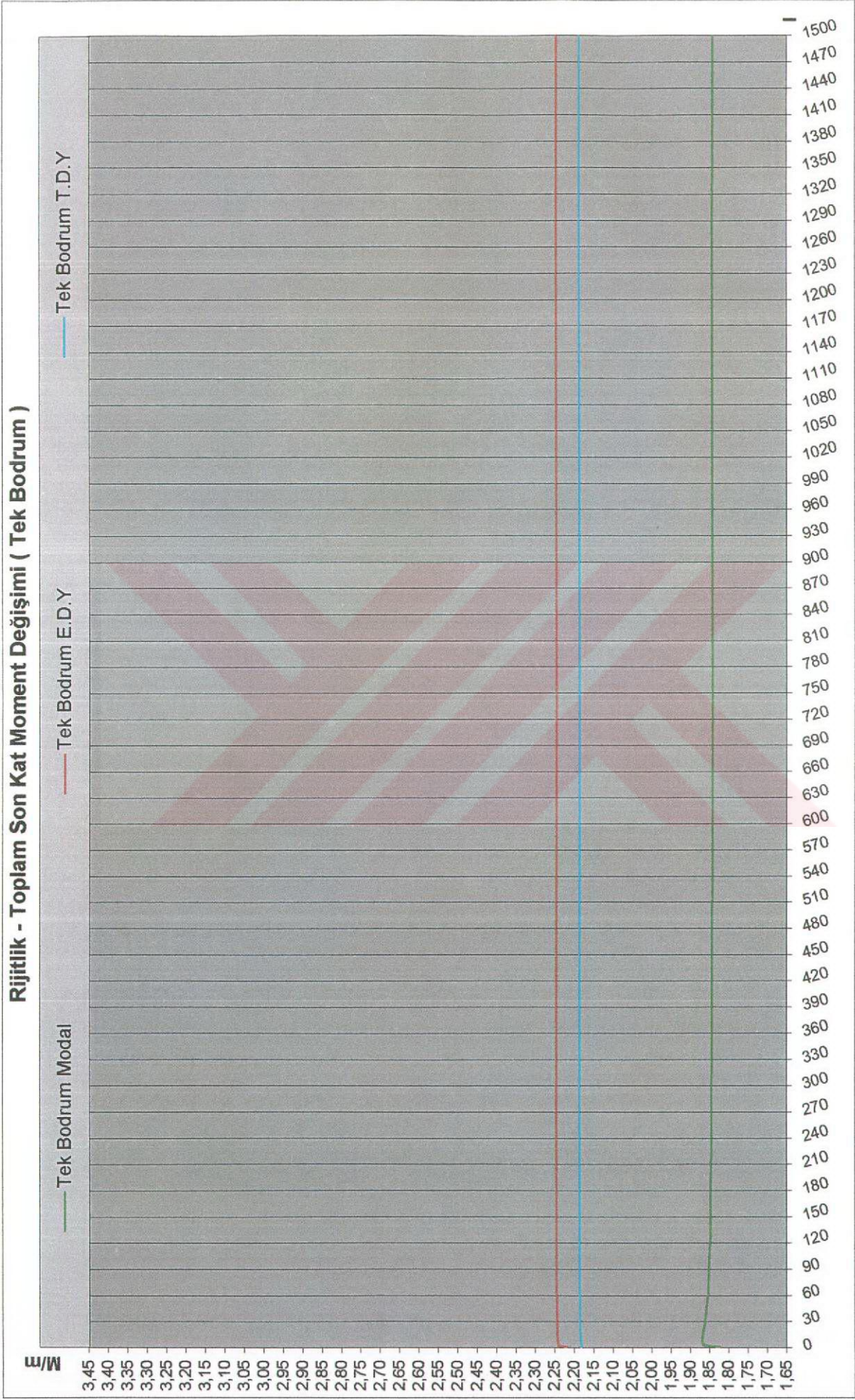
Şekil 5.12 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



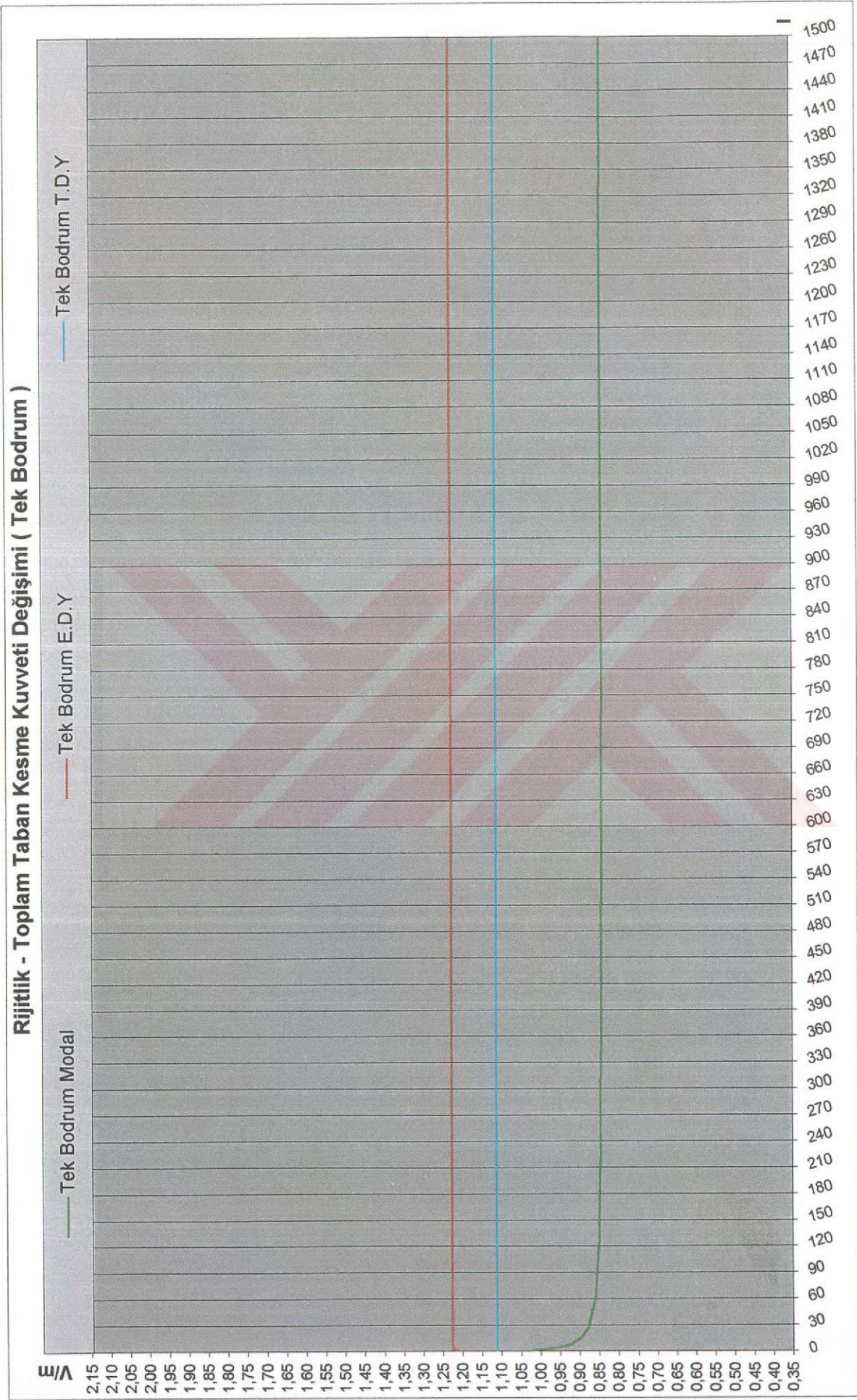
Şekil 5.13 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Momenti Değişimi Grafığı



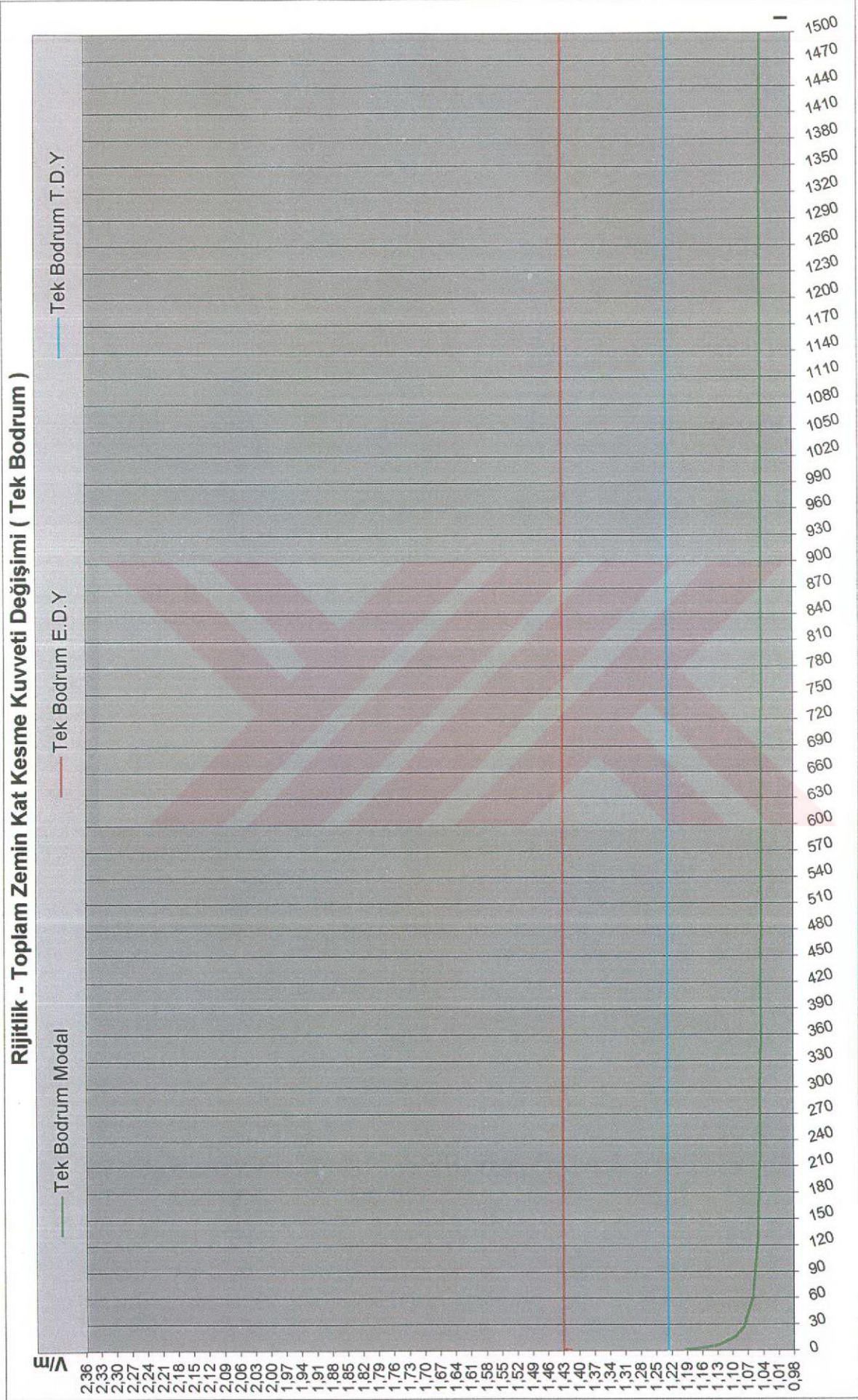
Şekil 5.14 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik - Toplam Zemin Kat Momenti Değişimi Grafiği



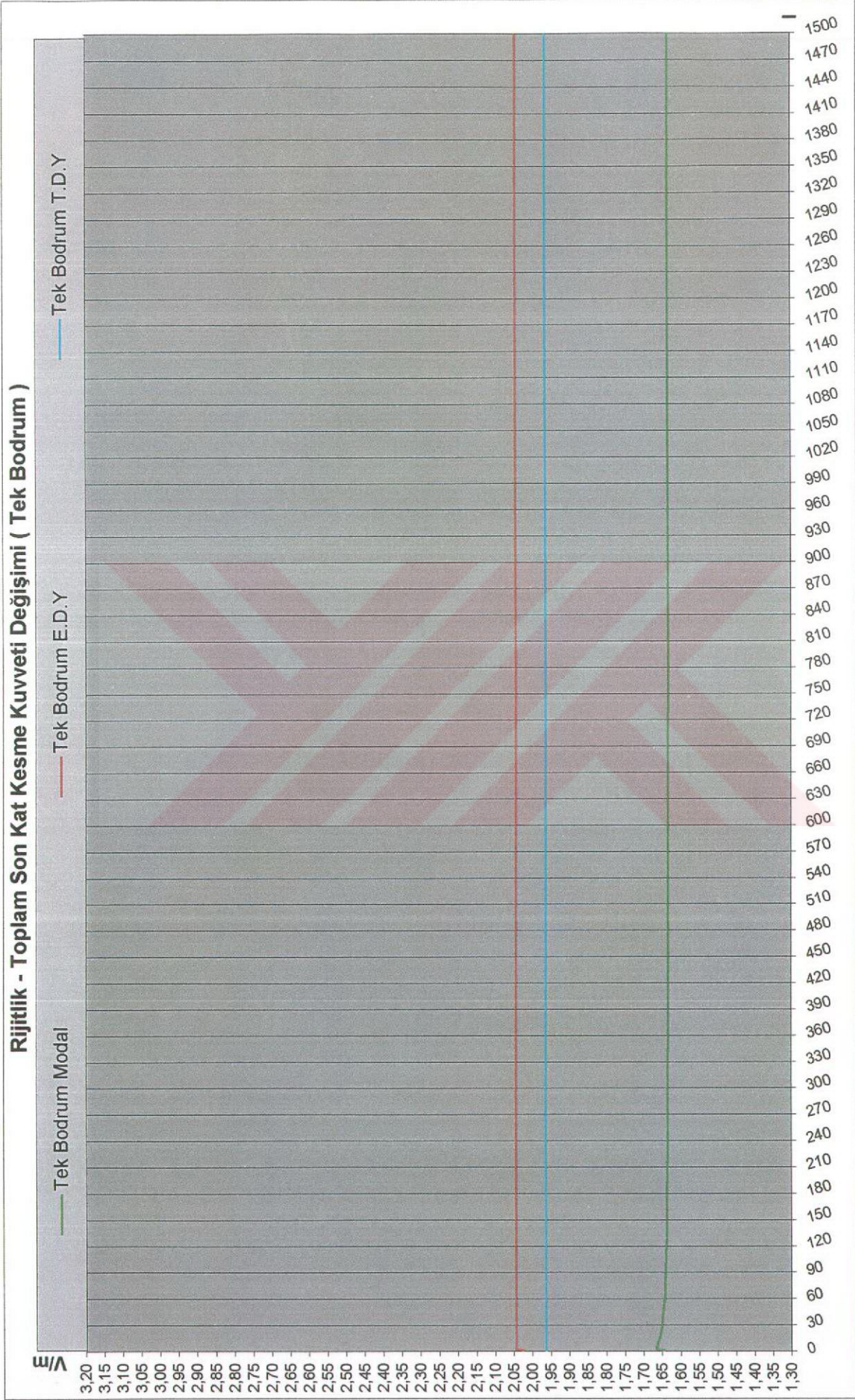
Şekil 5.15 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Momenti Değişimi Grafiği



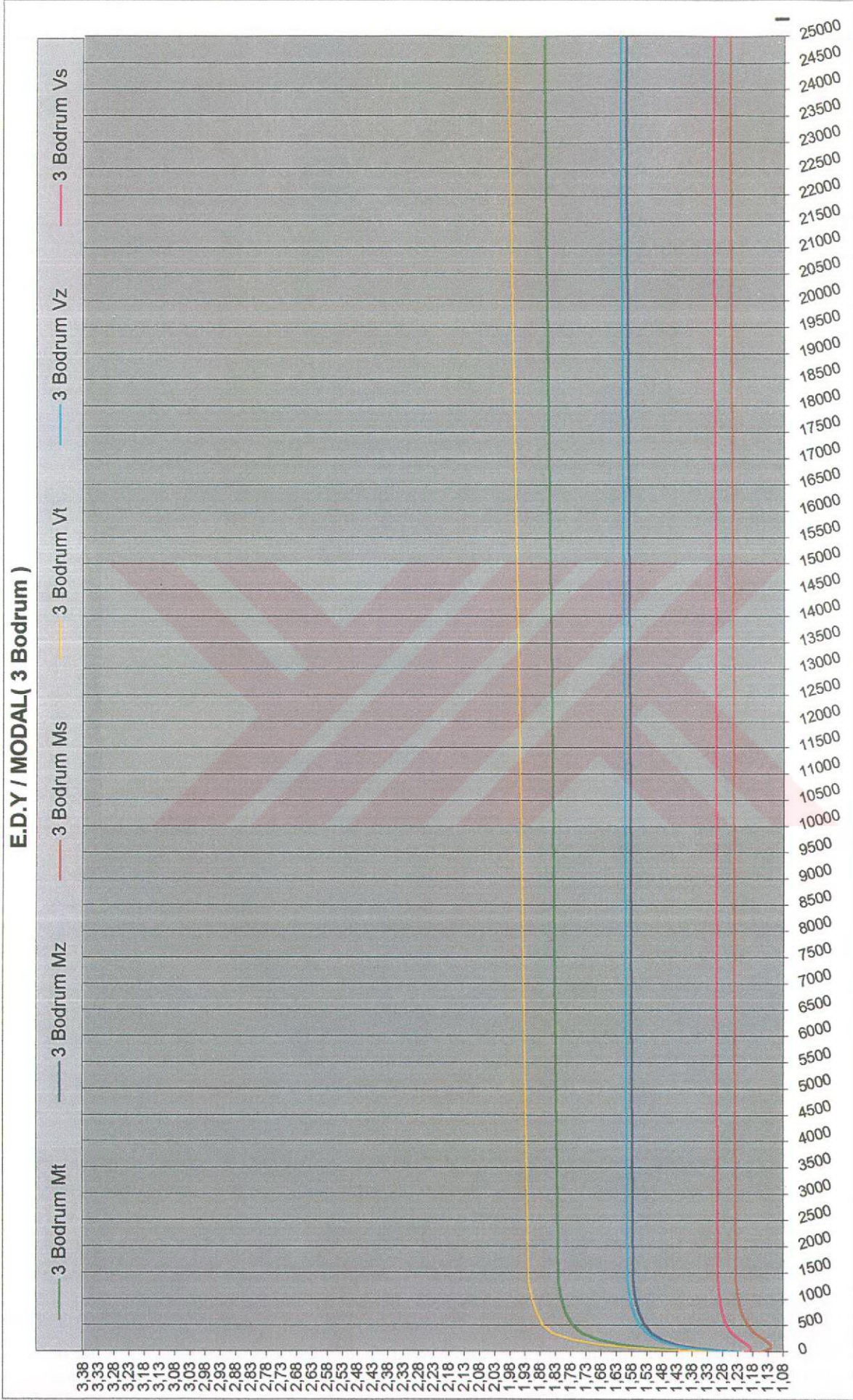
Şekil 5.16 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Taban Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



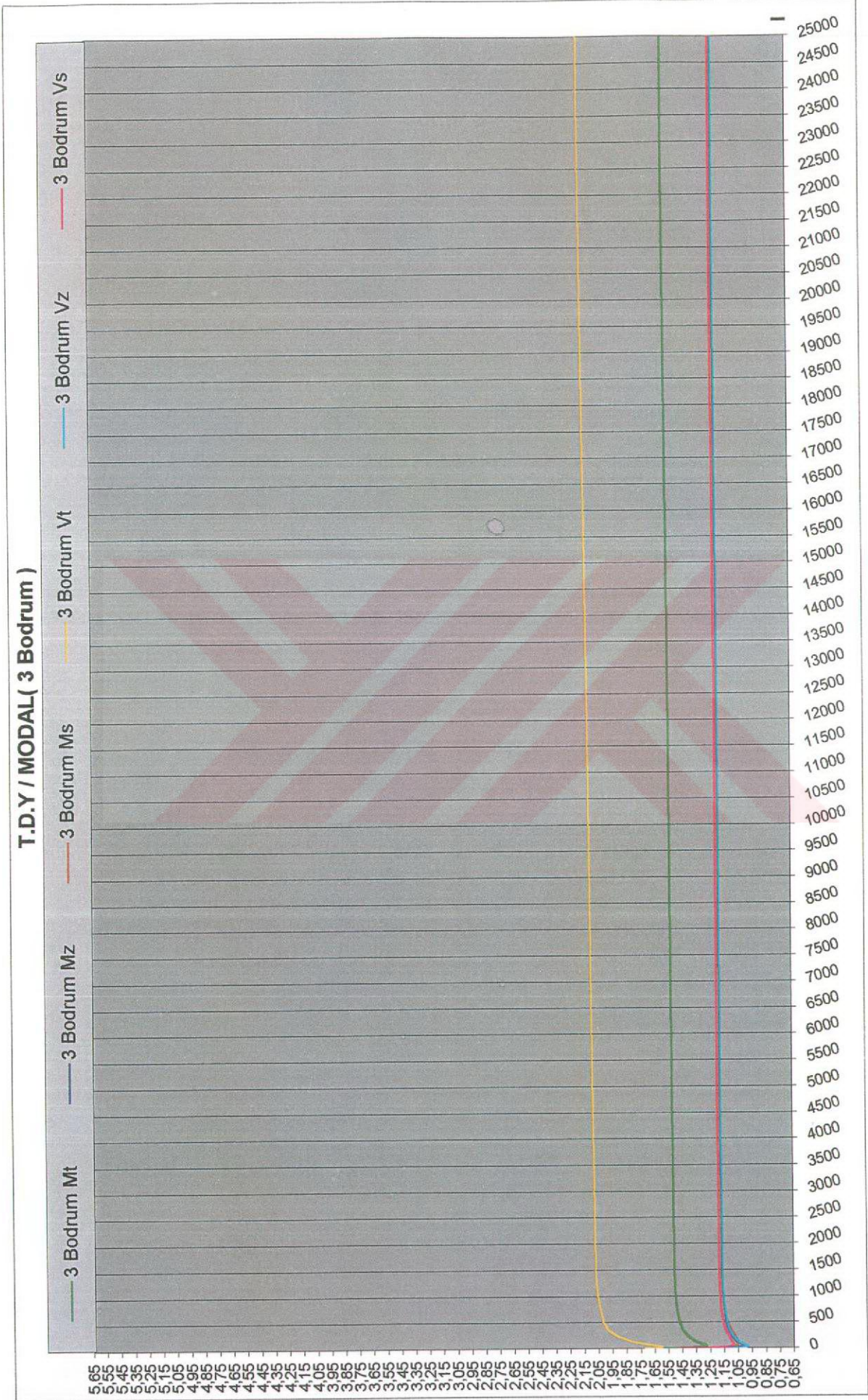
Şekil 5.17 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Zemin Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafiği



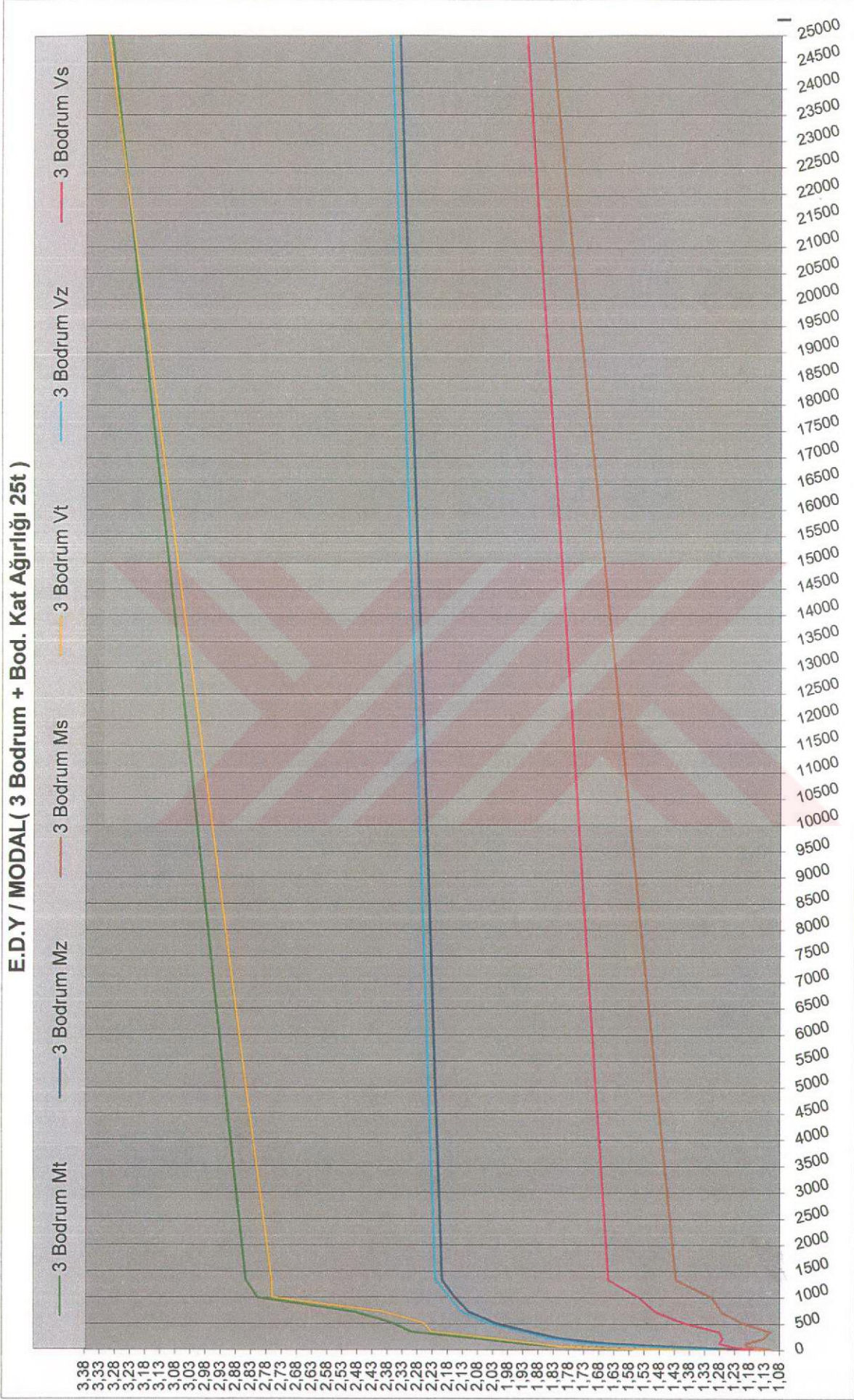
Şekil 5.18 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modelinin Bütün Hesap Yöntemleriyle Hesaplanan Sonuç Değerlerinin Normalize Edilmesiyle Elde Edilen Rijitlik – Toplam Son Kat Kesme Kuvveti Değişimi Grafliği



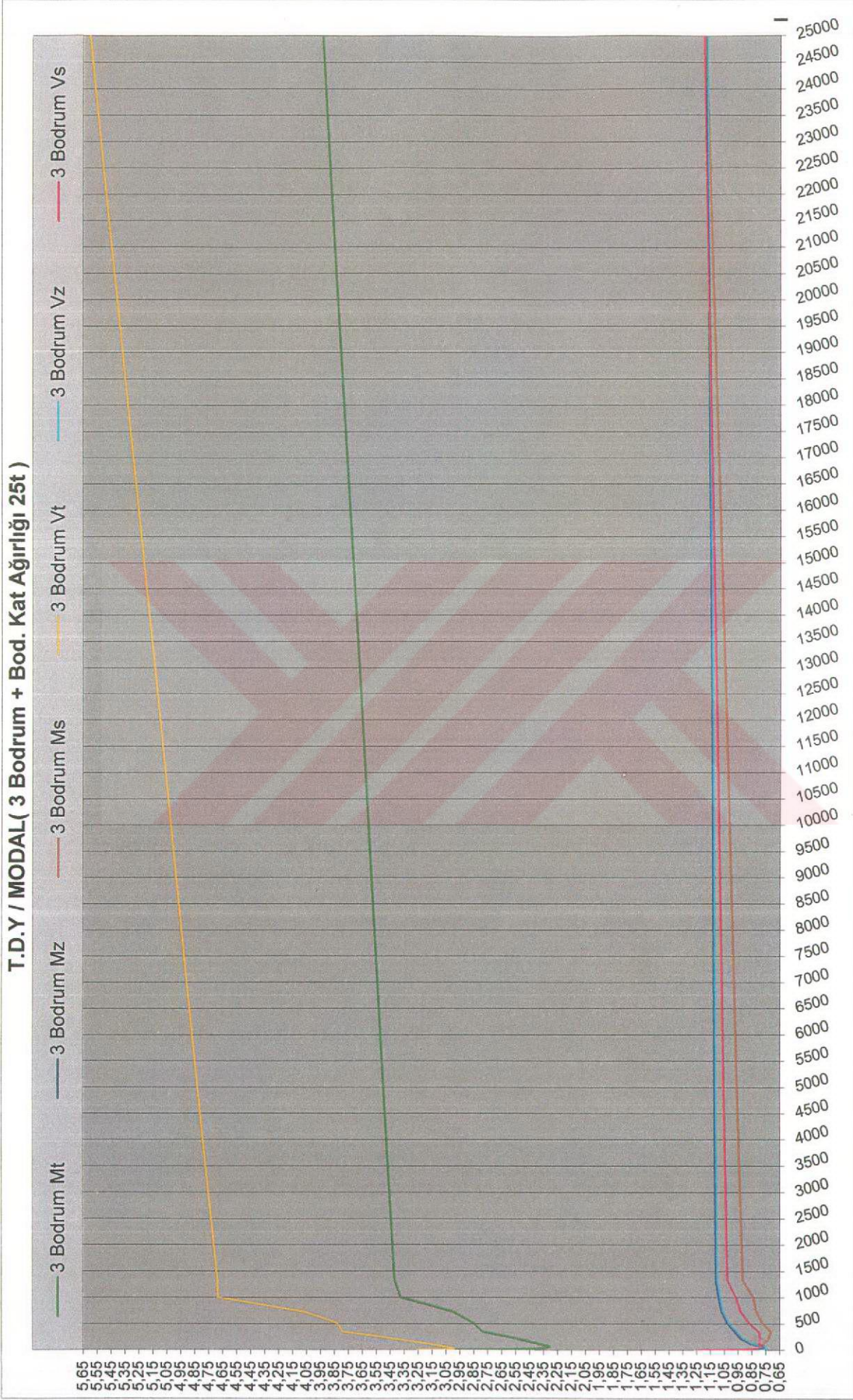
Şekil 5.19 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüktü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği



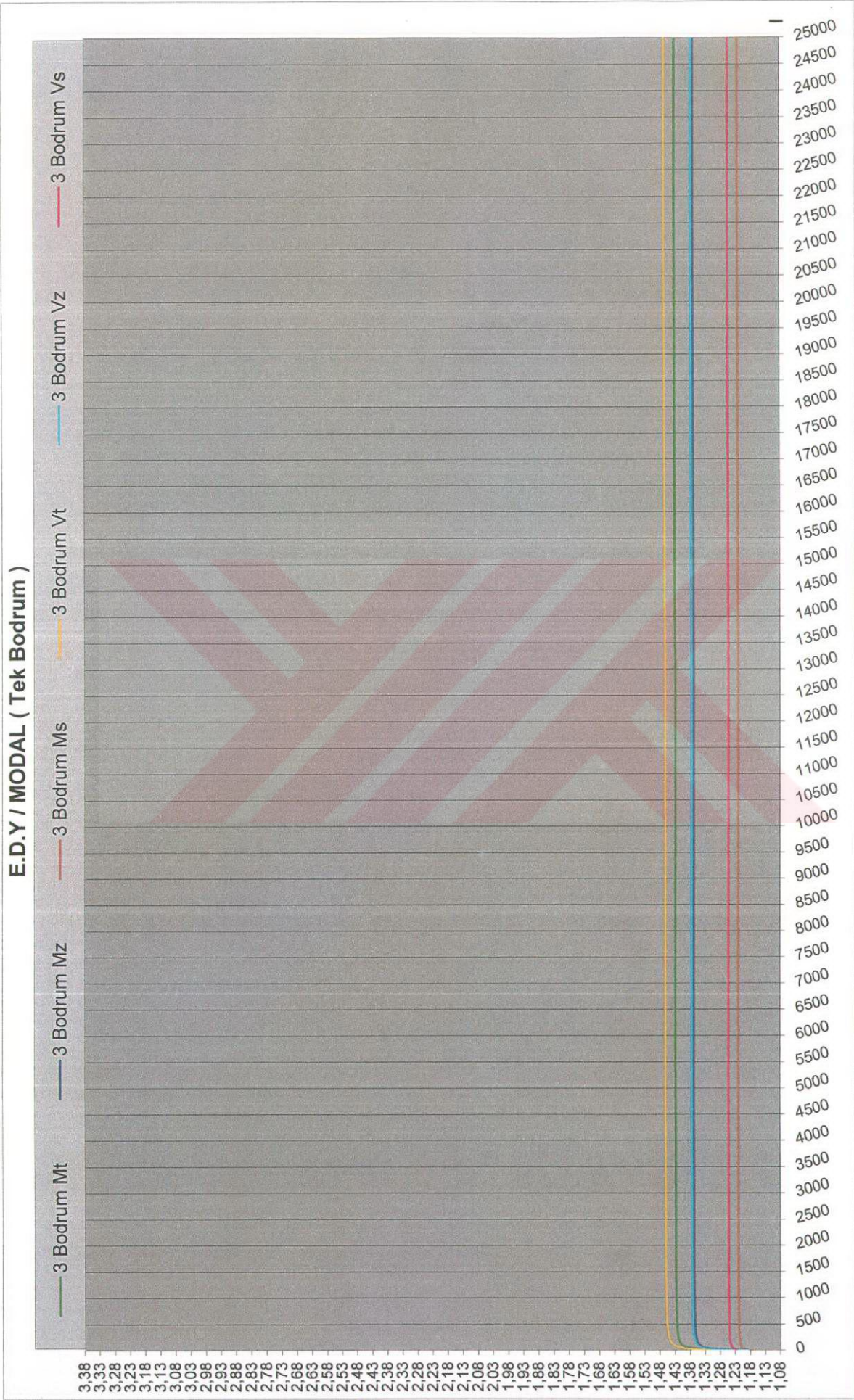
Şekil 5.20 3 Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği



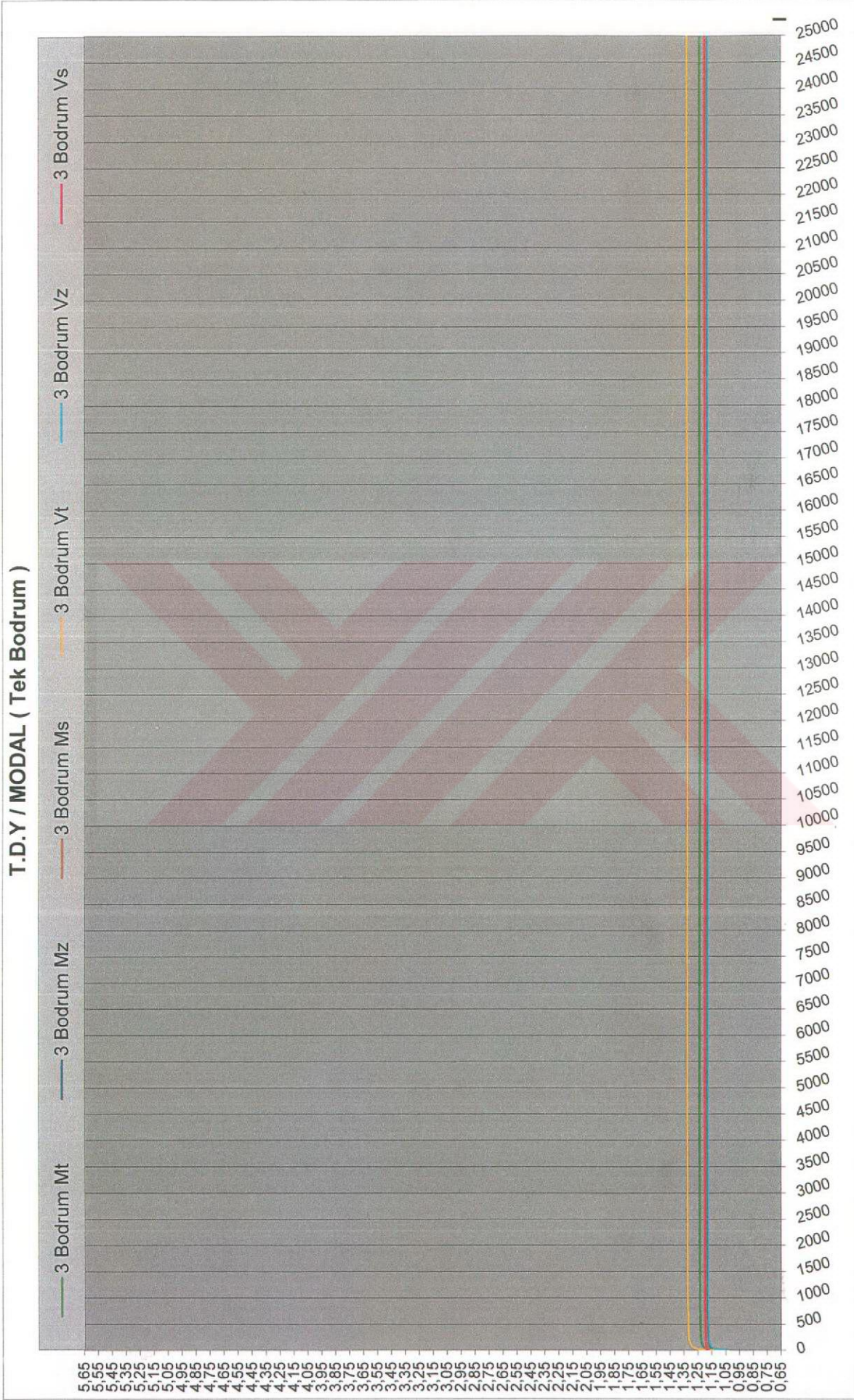
Şekil 5.21 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüklü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği



Şekil 5.22 3 Bodrum Bodrum Kat Ağırlığı 25t Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüklü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği



Şekil 5.23 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (EDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiğı



Şekil 5.24 Tek Bodrum Düzlem Hesap Çerçevesi Modeline Eşdeğer Deprem Yüğü (TDY) Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Analiz Sonuçlarının Mod Birleştirme Yöntemiyle Elde Edilen Hesap Sonuçlarına Oranı Grafiği

KAYNAKLAR

- Z.Celep, N. Kumbasar., (1996) “Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş”, Sema Matbaacılık. İstanbul.
- A.K. Chopra (1981), “Dynamics Of Structures – A Orimer”, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley .
- D.J Dowrick., (1987), “Earthquake Resistant Design”, John Willey and Sons, Chichester,
- N.M Newmark., (1971), “Fundamentals Of Earthquake Engineering”, Prentice Hall, Englewood Cliffs 1971
- N.M Newmark.,W.J.Hall (1982), “Earthquake Spectra And Design ”, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley
- G.Özmen, E.Orakdöğen ve K. Darılmaz., “Örneklerle SAP2000”, Birsen Yayınevi , İstanbul.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1997) “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü (2000) “TS 500 : Betonarme Yapıların Yapım Kuralları”, Ankara .
- N.M Newmark.,W.J.Hall (1984), “ACI 318M-83 : Building Code Requirments For reinforced Concrete”, American Concrete Institute, Detroit
- Z.Celep, N. Kumbasar., (2000) “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Beta Dağıtım, İstanbul
- Z.Celep, N. Kumbasar., (2001) “Betonarme Yapılar”, İhlas Matbaacılık, İstanbul
- E.L.Wilson (1997), “Three Dimensional Dynamic Analysis Of Stuctures ”, Computers and Structures,Inc, Berkeley
- Metro Rail Transit Consultants (1984), “Supplemental Criteria For Seismic Design Of Underground Structures ”, 1984
- B.S. Taranath (1988), “Stuctural Analysis and Design Of tall Buildings ”, McGraw-Hill, New York
- M.Baradar (1997), “345 Solved seismic Design Problems”, Professional Publications,

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.05.1976	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1987-1995	Özel İtalyan Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2003	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum(lar)

1999-2001 İsmet BABUŞ Mühendislik Ltd Şti.

