

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yunus Emre ÇAĞATAY

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI ANALİZİ VE TASARIMI

KASIM 2006

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yunus Emre ÇAĞATAY
(501031040)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Kasım 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Kasım 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Filiz PİROĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erdoğan UZGİDER (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Zafer ÖZTÜRK (Y.T.Ü.)

KASIM 2006

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Analizi ve Tasarımı Programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında, betonarme karkas taşıyıcı sisteme sahip olan Metrocity binası süneklik düzeyi yüksek dışmerkez güçlendirilmiş çerçeveli çelik yapı olarak tasarlanmış ve mevcut betonarme durum ile yapım süresi, maliyet ve yatırımın geri dönüşü bakımından karşılaştırılmıştır.

Çalışmalarım süresince bana yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Filiz Piroğlu'na, değerli arkadaşım Erdem Demirkıran'a ve bugüne kadar maddi, manevi her türlü desteği bana sağlamış olan aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

10.04.2006

Yunus Emre ÇAĞATAY

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	x
TABLO LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Projenin Genel Özellikleri	1
1.3. Yapının Mimari ve Betonarme Özellikleri	2
1.4. Çelik Olarak Tasarlanan Yapının Özellikleri	5
1.5. Kullanılan Yönetmelikler, Kombinasyonlar ve Malzeme Emniyet Değerleri	8
2. YÜK ANALİZİ	12
2.1. Sabit Yükler	12
2.2. Hareketli Yükler	13
2.3. Rüzgar Yükleri	13
2.4. Toprak Yükü	16
2.5. Deprem Yükü	17
3. YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI	22
3.1. Kompozit Döşemenin Boyutlandırılması	22
3.1.1. Boyutların belirlenmesi	24
3.1.2. Yüklerin belirlenmesi	24
3.1.3. Katlanmış çelik sacın kalıp sürecinde hesabı	25
3.1.4. Karma plakta taşıma gücü kontrolü	26
3.1.5. Sehim kontrolü	27
3.2. Kompozit Kat Kirişlerinin Boyutlandırılması	28
3.2.1. K1 kirişi hesabı	32
3.2.1.1. Enkesit kontrolü	32
3.2.1.2. Gerilme kontrolü	32
3.2.1.3. Sehim kontrolü	33
3.2.1.4. Kesme güvenliği kontrolü	34
3.2.1.5. Kayma elemanlarının hesabı	34

3.2.2. K2 kirişi hesabı	36
3.2.2.1. Enkesit kontrolü	36
3.2.2.2. Gerilme kontrolü	36
3.2.2.3. Sehim kontrolü	37
3.2.2.4. Kesme güvenliği kontrolü	38
3.2.2.5. Kayma elemanlarının hesabı	38
3.2.3. T1 kirişi hesabı	38
3.2.3.1. Enkesit kontrolü	39
3.2.3.2. Gerilme kontrolü	39
3.2.3.3. Sehim kontrolü	40
3.2.3.4. Kesme güvenliği kontrolü	40
3.2.3.5. Kayma elemanlarının hesabı	40
3.2.4. T2 kirişi hesabı	41
3.2.4.1. Enkesit kontrolü	41
3.2.4.2. Gerilme kontrolü	41
3.2.4.3. Sehim kontrolü	42
3.2.4.4. Kesme güvenliği kontrolü	42
3.2.4.5. Kayma elemanlarının hesabı	43
3.2.5. T3 kirişi hesabı	43
3.2.5.1. Enkesit kontrolü	43
3.2.5.2. Gerilme kontrolü	44
3.2.5.3. Sehim kontrolü	45
3.2.5.4. Kesme güvenliği kontrolü	45
3.2.5.5. Kayma elemanlarının hesabı	45
3.3. Kolonların Boyutlandırılması	46
3.3.1. Zemin - 4. normal kat kolonları hesabı	50
3.3.1.1. Enkesit kontrolü	50
3.3.1.2. Gerilme kontrolü	50
3.3.1.3. Yanal burkulma kontrolü	52
3.3.1.4. Kesme güvenliği kontrolü	52
3.3.1.5. Arttırılmış deprem yükleri dayanım kontrolü	52
3.3.1.6. Kolon kesiti kaynak hesabı	52
3.3.1.7. Bodrum kat kolonları gerilme kontrolü	54
3.3.2. 5. Normal - 9. normal kat kolonları hesabı	55
3.3.2.1. Enkesit kontrolü	55
3.3.2.2. Gerilme kontrolü	55
3.3.2.3. Yanal burkulma kontrolü	57
3.3.2.4. Kesme güvenliği kontrolü	57

3.3.2.5. Arttırılmış deprem yükleri dayanım kontrolü	57
3.3.2.6. Kolon kesiti kaynak hesabı	58
3.3.3. 10. Normal - 19. normal kat kolonları hesabı	59
3.3.3.1. Enkesit kontrolü	59
3.3.3.2. Gerilme kontrolü	59
3.3.3.3. Yanal burkulma kontrolü	60
3.3.3.4. Kesme güvenliği kontrolü	61
3.3.3.5. Arttırılmış deprem yükleri dayanım kontrolü	61
3.3.3.6. Kolon kesiti kaynak hesabı	61
3.3.3.7. Kolonların kirişlerden güçlü olma kontrolü	62
3.4. Bağlantı Kirişlerinin Boyutlandırılması	64
3.4.1. X doğrultusundaki bağlantı kirişlerinin hesabı	64
3.4.1.1. Kiriş boyu kontrolü	65
3.4.1.2. Enkesit kontrolü	65
3.4.1.3. Gerilme kontrolü	65
3.4.1.4. Dönme açısı kontrolü	66
3.4.1.5. Çerçeve kirişinin gerilme kontrolü	67
3.4.1.6. Gövde rijitlik levhası hesabı	67
3.4.2. Y doğrultusundaki bağlantı kirişlerinin hesabı	69
3.4.2.1. Kiriş boyu kontrolü	70
3.4.2.2. Enkesit kontrolü	70
3.4.2.3. Gerilme kontrolü	70
3.4.2.4. Dönme açısı kontrolü	70
3.4.2.5. Çerçeve kirişinin gerilme kontrolü	71
3.4.2.6. Gövde rijitlik levhası hesabı	72
3.5. Çaprazların Boyutlandırılması	73
3.5.1. X doğrultusundaki çaprazların hesabı	73
3.5.1.1. Narinlik kontrolü	73
3.5.1.2. Enkesit kontrolü	74
3.5.1.3. Gerilme kontrolü	74
3.5.2. Y doğrultusundaki çaprazların hesabı	74
3.5.2.1. Gerilme kontrolü	74
3.6. Radye Temelin Boyutlandırılması	75
3.6.1. Zemin emniyet gerilmesi kontrolü	77
3.6.2. Zımbalama kontrolü	77
3.6.3. Donatı hesabı	78
3.7. Bodrum Kat Kompozit Kolonlarının Boyutlandırılması	80

4. YAPI ELEMANLARI BİRLEŞİM HESAPLARI	83
4.1. Kolon Ayağı Hesabı	83
4.1.1. Bulon hesabı	85
4.1.2. Beton basınç gerilmesi kontrolü	85
4.1.3. Taban levhası kalınlığı kontrolü	85
4.1.4. Guse levhasını profil başlığına bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	86
4.1.5. Guse levhalarının uç kesitinde gerilme kontrolü	86
4.1.6. Guse levhasını taban levhasına bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	87
4.1.7. Kolon gövdesini taban levhasına bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	87
4.1.8. Kama elemanında kontrol	87
4.1.9. Kamayı taban levhasına bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	87
4.2. Döşeme Kirişi Bağlantı Hesabı	88
4.2.1. Bulon hesabı	88
4.2.2. Döşeme kirişi azalan gövde kontrolü	89
4.2.3. Nervür levhasındaki kaynak dikişlerinin hesabı	89
4.3. Kolonların Kesit Değiştirdiği Noktaların Ek Hesabı	90
4.3.1. 5. Normal kat kolon kesit değişim hesabı	91
4.3.1.1. Gövdeyi enine levhaya bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	92
4.3.1.2. Başlığı enine levhaya bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	92
4.3.1.3. Levha gerilme kontrolü	92
4.3.2. 10. Normal kat kolon kesit değişim hesabı	93
4.3.2.1. Gövdeyi enine levhaya bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	94
4.3.2.2. Başlığı enine levhaya bağlayan kaynak dikişlerinin hesabı	94
4.3.2.3. Levha gerilme kontrolü	94
4.4. Çaprazların Bağ Kirişlerine Bağlantı Hesabı	95
4.4.1. X doğrultusundaki çaprazların hesabı	95
4.4.1.1. Bulon hesabı	95
4.4.1.2. Guse levhası kontrolü	97
4.4.1.3. Guse levhasındaki kaynak dikişlerinin hesabı	98
4.4.1.4. Flanş levhası kontrolü	98
4.4.1.5. Flanş levhasındaki kaynak dikişlerinin hesabı	98
4.4.2. Y doğrultusundaki çaprazların hesabı	99
4.4.2.1. Bulon hesabı	99
4.4.2.2. Guse levhası kontrolü	101
4.4.2.3. Guse levhasındaki kaynak dikişlerinin hesabı	101
4.4.2.4. Flanş levhası kontrolü	102
4.4.2.5. Flanş levhasındaki kaynak dikişlerinin hesabı	102
4.5. Kirişlerin Ek Hesabı	103

4.5.1. X doğrultusundaki kompozit IPE 400 kesitli kirişlerin eki	103
4.5.1.1. Levha gerilme kontrolü	103
4.5.1.2. Bulon hesabı	103
4.5.2. Y doğrultusundaki kompozit IPE 450 kesitli kirişlerin eki	105
4.5.2.1. Levha gerilme kontrolü	105
4.5.2.2. Bulon hesabı	105
4.6. Çaprazların Kolon ve Kirişe Bağlantı Hesabı	107
4.6.1. Zemin kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların hesabı	109
4.6.1.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	110
4.6.1.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	110
4.6.1.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	111
4.6.1.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	112
4.6.2. Zemin kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların hesabı	113
4.6.2.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	114
4.6.2.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	115
4.6.2.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	115
4.6.2.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	116
4.6.3. 5. Normal kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların hesabı	117
4.6.3.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	118
4.6.3.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	119
4.6.3.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	119
4.6.3.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	120
4.6.4. 5. Normal kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların hesabı	122
4.6.4.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	123
4.6.4.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	123
4.6.4.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	124
4.6.4.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	125
4.6.5. 10. Normal kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların hesabı	126
4.6.5.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	127
4.6.5.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	128
4.6.5.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	128
4.6.5.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	129
4.6.6. 10. Normal kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların hesabı	130
4.6.6.1. Guse levhasını kirişe birleştiren köşe kaynak dikişlerinin hesabı	131
4.6.6.2. Guse levhasını kolona birleştiren bulonların hesabı	132
4.6.6.3. Levhayı kolona birleştiren kaynak dikişlerinin hesabı	132
4.6.6.4. Kirişi kolona birleştiren bulonların hesabı	133
4.7. Kolon Kiriş Birleşim Hesabı	134

4.7.1. Zemin kat X doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	136
4.7.1.1. Bulon hesabı	137
4.7.1.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	138
4.7.1.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	138
4.7.1.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	139
4.7.2. Zemin kat Y doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	140
4.7.2.1. Bulon hesabı	140
4.7.2.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	141
4.7.2.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	142
4.7.2.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	142
4.7.3. 5. Normal kat X doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	143
4.7.3.1. Bulon hesabı	143
4.7.3.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	145
4.7.3.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	145
4.7.3.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	146
4.7.4. 5. Normal kat Y doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	147
4.7.4.1. Bulon hesabı	147
4.7.4.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	148
4.7.4.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	149
4.7.4.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	149
4.7.5. 10. Normal kat X doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	150
4.7.5.1. Bulon hesabı	150
4.7.5.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	152
4.7.5.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	152
4.7.5.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	153
4.7.6. 10. Normal kat Y doğrultusu için kolon kiriş birleşim hesabı	154
4.7.6.1. Bulon hesabı	154
4.7.6.2. Alın levhası kalınlığı hesabı	155
4.7.6.3. Kolon başlık kalınlığı kontrolü	156
4.7.6.4. Kayma bölgesi gövde takviye levhası hesabı	156
5. MALİYET VE SÜRE ANALİZİ	158
5.1. Maliyet Analizi	158
5.1.1. Mevcut betonarme yapı metrajı	158
5.1.1.1. Beton metrajı	158
5.1.1.2. Betonarme donatı çelik metrajı	159
5.1.1.3. Kalıp metrajı	159
5.1.2. Tasarlanan çelik yapı metrajı	159
5.1.2.1. Çelik metrajı	159

5.1.2.2. Beton metraжі	160
5.1.2.3. Betonarme donatı çelik metraжі	160
5.1.3. Birim fiyatlar ve tarifleri	160
5.1.4. Toplam maliyetler	162
5.1.4.1. İnce işlerin maliyeti	162
5.1.4.2. Mevcut betonarme yapı maliyeti	162
5.1.4.3. Tasarlanan çelik yapı maliyeti	163
5.2. Süre Analizi	163
5.2.1. Proje, ruhsat, hafriyat, bodrum perdeleri ve temel inşaatı süre analizi	163
5.2.2. Mevcut betonarme yapı süre analizi	163
5.2.3. Tasarlanan çelik yapı süre analizi	164
5.3. Kira Geliri Hesabı	164
5.3.1. Mevcut betonarme yapı kira geliri hesabı	165
5.3.2. Tasarlanan çelik yapı kira geliri hesabı	165
5.4. Yatırımın Geri Dönüş Hesabı	165
5.4.1. Mevcut betonarme yapı için hesap	165
5.4.2. Tasarlanan çelik yapı için hesap	165
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	166
KAYNAKLAR	172
EKLER	174
ÖZGEÇMİŞ	176

KISALTMALAR

BA	: Betonarme
BÇ	: Betonarme Çeliği
DIN	: Deutches Institut für Norme
Etabs	: Extended Three Dimensional Analysis Of Building Systems
St	: Steel
TS	: Türk Standartları
TDY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AISC-ASD	: American Institute Of Steel Construction-Allowable Steel Design
TBK	: Tasarım Büyütme Katsayısı
GKÖ	: Göreli Kat Ötelemesi

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Elektrod mekanik özellikleri	11
Tablo 2.1 Yüksekliğe bağlı C_e bölge faktörü katsayısı değerleri	14
Tablo 2.2 Rüzgar yükü değerleri	15
Tablo 2.3 Etkin yer ivmesi katsayısı	18
Tablo 2.4 Hareketli yük katılım katsayısı	18
Tablo 2.5 Spektrum karakteristik periyotları	18
Tablo 2.6 Bina önem katsayısı	18
Tablo 2.7 Modal analiz kütle katılım oranları	21
Tablo 3.1 En elverişsiz kiriş kesit tesirleri	31
Tablo 3.2 IPE 450 kesit özellikleri	32
Tablo 3.3 IPE 400 kesit özellikleri	36
Tablo 3.4 IPE 360 kesit özellikleri	38
Tablo 3.5 IPE 200 kesit özellikleri	41
Tablo 3.6 IPE 100 kesit özellikleri	43
Tablo 3.7 Deprem büyütme katsayısı	49
Tablo 3.8 HE 2×1000×393 kesit özellikleri	50
Tablo 3.9 HE 2×700B kesit özellikleri	55
Tablo 3.10 HE 2×600B kesit özellikleri	59
Tablo 3.11 Da arttırma katsayıları	63
Tablo 3.12 HD 260×172 kesit özellikleri	73
Tablo 3.13 Radye temelde oluşan en büyük moment değerleri	79
Tablo 3.14 Radye temelde hesaplanan donatı miktarları	80

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Betonarme kat kalıp planı	3
Şekil 1.2 : Betonarme yapı radye temel kesiti	4
Şekil 1.3 : Çelik olarak tasarlanan kat planı	5
Şekil 1.4 : X ve y doğrultusundaki çapraz yerleşimi	6
Şekil 1.5 : Yapının 3 boyutlu modeli	7
Şekil 2.1 : Rüzgar yükü etkiltilme şekli	15
Şekil 2.2 : Bodrum perdelerine etkiyen toprak basıncı dağılımı	17
Şekil 2.3 : Tasarım spektrum diyagramı	19
Şekil 2.4 : Yapının birinci mod şekli	20
Şekil 3.1 : Kompozit döşemede beton ve sac çelik kama bağlantısı	22
Şekil 3.2 : Sac levha ve plağın boyutları	22
Şekil 3.3 : Kompozit döşeme kesiti	24
Şekil 3.4 : Kesit etkileri dağıtımı yöntemi	28
Şekil 3.5 : Kompozit kat kirişi kesiti	29
Şekil 3.6 : Kompozit kat kirişleri	31
Şekil 3.7 : Kayma elemanı boyutları	34
Şekil 3.8 : Kullanılan kolon kesitleri	46
Şekil 3.9 : Kolonların kirişlerden güçlü olma koşulu	63
Şekil 3.10 : Rijitlik levhaları detayı	68
Şekil 3.11 : Çapraz yerleşimleri	73
Şekil 3.12 : Radye temel modeli	75
Şekil 3.13 : Radye temeldeki moment dağılımı	78
Şekil 3.14 : Kompozit kolon kesiti	81
Şekil 4.1 : Kolon ayağı serbest cisim diyagramı	83
Şekil 4.2 : Kolon ayağı detayı	84
Şekil 4.3 : Guse levhaları kesiti	86
Şekil 4.4 : Döşeme kirişi bağlantı detayı	88
Şekil 4.5 : 5. Normal kat kolon kesit değişim detayı	91
Şekil 4.6 : 10. Normal kat kolon kesit değişim detayı	93
Şekil 4.7 : X doğrultusundaki çaprazların bağ kirişine bağlantı detayı	95
Şekil 4.8 : X doğrultusundaki çaprazların bağ kirişine bağlantı detayı için Whitmore kesiti boyutları	97
Şekil 4.9 : Y doğrultusundaki çaprazların bağ kirişine bağlantı detayı	99
Şekil 4.10 : Y doğrultusundaki çaprazların bağ kirişine bağlantı detayı için Whitmore kesiti boyutları	101
Şekil 4.11 : Kompozit IPE 400 kirişi ek detayı	103
Şekil 4.12 : Kompozit IPE 450 kirişi ek detayı	105
Şekil 4.13 : Düğüm noktası serbest cisim diyagramı	107
Şekil 4.14 : Zemin kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı	109
Şekil 4.15 : Zemin kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı	113

Şekil 4.16	: 5. Normal kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı ...	117
Şekil 4.17	: 5. Normal kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı	122
Şekil 4.18	: 10. Normal kattaki ve X doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı ..	126
Şekil 4.19	: 10. Normal kattaki ve Y doğrultusundaki çaprazların bağlantı detayı ..	130
Şekil 4.20	: Kolon giriş birleşim detayı	134
Şekil 4.21	: Zemin kat X doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	136
Şekil 4.22	: Zemin kat Y doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	140
Şekil 4.23	: 5. Normal kat X doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	143
Şekil 4.24	: 5. Normal kat Y doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	147
Şekil 4.25	: 10. Normal kat X doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	150
Şekil 4.26	: 10. Normal kat Y doğrultusu için kolon giriş birleşim detayı	154

SEMBOL LİSTESİ

A(T)	: Spektral ivme katsayısı
A_{smin}	: Minimum donatı kesit alanı
b_x, b_y	: Zımbalama çevresinin “x” ve “y” doğrultusundaki boyutları
d	: Eğilme elemanlarında faydalı yükseklik
d_t	: Basınç donatısı merkezinden ölçülen beton örtüsü
e	: Eğilme düzleminde hesaba katılacak dışmerkezlik
e_{min}	: Minimum dışmerkezlik
e_x, e_y	: “x” ve “y” doğrultularındaki dışmerkezlikler
E_{beton}	: Beton elastisite modülü
E_{çelik}	: Çelik elastisite modülü
f	: Şehim
f_{ctd}	: Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
F	: Kesit alanı
G	: Sabit yük
h	: Eleman yüksekliği, kiriş toplam yüksekliği, kolonun eğilme düzlemindeki kesit boyutu
H	: Esas yükler
HZ	: İlave Yükler
i	: Eylemsizlik yarıçapı
l	: Mesnet yerleri arasındaki eleman uzunluğu
I	: Eylemsizlik momenti
I	: Bina önem katsayısı
k_s	: Donatı hesabına esas katsayı
k_v	: Zemin düşey yatak katsayısı
K	: Donatı hesabına esas katsayı
L_b	: Basınca çalışan başlık elemanın yanal olarak tutulmuş uzunluğu
L_c	: Berkitleme boyu katsayısı
M_x, M_y	: “x” ve “y” düzlemindeki Moment
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N	: Normal Kuvvet
p	: Hesaplanan beton basınç gerilmesi
P	: Eksenel kuvvet
q	: Eleman üzerindeki yayılı yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a(T)	: Deprem yükü azaltma katsayısı
s	: Profilin gövde kalınlığı
S(T)	: Spektrum katsayısı
S_{ae}(T)	: Elastik Spektral İvme
S_{kx}	: x-x eksenine dik burkulma boyu
S_{ky}	: y-y eksenine dik burkulma boyu
S_x	: x eksenine göre kesit statik momenti
T	: Binanın doğal titreşim periyodu

T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_r, T_s	: Binanın r'inci ve s'inci doğal titreşim periyotları
u_p	: Zımbalama çevresi(yüklenen alandan d/2 uzaklıkta)
V_{pd}	: Tasarım Zımbalama Kuvveti
V_{pr}	: Zımbalama Dayanımı
y	: Kesit ağırlık merkezinin koordinatı
β	: Burkulma boyu katsayısı
γ	: Zımbalamada eğilme etkisini yansıtan katsayı
σ_z	: Zemin emniyet gerilmesi

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

ÖZET

Yapılan bu tez çalışmasında betonarme bir yapı olan, İstanbul 1. Levent'te bulunan Metrocity binasının dışmerkez güçlendirilmiş çelik çapraz perde sistemli çelik tasarımı yapılmıştır.

Yapı 835 m² taban alanına oturan dikdörtgen bir plana sahip 8 bodrum, zemin, 28 normal ve 3 çatı katı ile toplam 40 katlı bir binadır. Bodrum katlar otopark amaçlı kullanılmakta, ilk dört katta alışveriş merkezi, mağazalar ve lokantalar bulunmakta, üstteki 24 kat ise konut amaçlı kullanılmaktadır. Bina toplam kullanım alanı 30.033 m² ve toplam yapı yüksekliği 134.4 m'dir.

Yapı 1. derece deprem bölgesindedir. Zemin sınıfı Z1 ve zemin emniyet gerilmesi 5 kg/cm² 'dir. Mevcut binada malzeme olarak BS 35 hazır beton ve BÇ I, BÇ III betonarme çeliği kullanılmıştır. Tasarlanan binada da betonarme malzemeler mevcut bina ile aynı alınmış, çelik elemanlarda kolon, kiriş ve çaprazlar için St52, levhalar için ise St37 kullanılmıştır. Birleşimlerde yüksek mukavemetli bulonlar tercih edilmiştir.

Tasarlanan yapıda mevcut binanın, dış sınırları, aks aralıkları, kat yükseklikleri, kolon ve kiriş konumları gibi ölçü ve özelliklerine sadık kalınmıştır. Aks aralıkları mevcut binada olduğu gibi 8 m alınmış ve her kata toplam 20 adet kolon konulmuştur. Kolon aralarına 8 m açıklıkta kirişler yerleştirilmiş ve döşemenin yerleşimi için x doğrultusunda kiriş ortalarından tali kirişler geçirilmiştir. Döşemeler katlanmış çelik sac ve betonarme malzemeleri birlikte kullanılarak kompozit olarak tasarlanmış ve kayma elemanlarıyla ana ve tali kirişlere bağlanarak kirişler de kompozit hale getirilmiştir. Yapı temeli mevcut binada olduğu gibi radye olarak tasarlanmış ve yüksekliği 2 m alınmıştır.

Çelik elemanlar için yüklerin hesaplanması ve boyutlandırma kuralları için TS 498-1997, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2006 ve

TS 648-Taslak 2006, TS 4561-1985, betonarme temel ve döşeme hesapları için ise TS500-2000 dikkate alınmıştır.

Yapı sisteminin statik ve dinamik analizi Etabs v8.11 programı ile yapılmıştır. Bu programdan alınan kesit tesirlerine göre yapı elemanları boyutlandırılmış ve birleşim hesapları yapılmıştır. İmalat çizimleri için Tekla Xsteel v8.0 ve Autocad 2005 programları kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre son bölümde yapının maliyet ve süre analizi yapılmış ve mevcut betonarme binaya ait verilerle karşılaştırılmıştır.

DESIGN OF HIGH RISE STEEL STRUCTURES

SUMMARY

In this study, a reinforced concrete building located in İstanbul 1. Levent, Metrocity is designed as a steel structure with eccentrically braced steel frames.

The building has a rectangular base in plan view having the area of 835 m² and consisting of 8 basement, 28 normal and 3 attic, totally 40 stories. Basement stories which are located in first 4 stories are used for car parking, shopping centers, stores and restaurants and the upper 24 stories are used residentially. The total usage area is 30.033 m² and the total height is 134.4 m.

The building is in the first earthquake zone. Soil type is assumed as Z1 and thus allowable soil stress is 5 kg/cm². Current building is constructed as reinforced concrete building having the quality of concrete as BS 35 concrete and BÇ I, BÇ III are used for reinforced concrete rebars. These materials are chosen the same with the current building in the new designed building and for the steel parts; St52 steel material is used for columns, beams and braces and St37 steel quality is used for plates. High strength bolts are chosen for steel connections.

General dimensions of the building are taken the same in the designed building. Axis spacing is taken 8 m as in the current building and totally 20 columns are placed in each storey. Beams having 8 m span length are supported by columns and, for supporting the floor slab secondary beams are placed in the centre of beams in x direction. Floor slabs are formed with folded steel plate and reinforced concrete materials compositely and by joining them to the beams with shearing elements, so that these beams are designed as composite beams. Foundation of the building is spread foundation as the current building with 2 m height.

For calculating the dimensions of the steel members TS 498-1997, Turkish Earthquake Code called “Regulations for Buildings of Disasters Regions”, TS 648-Study 2006, TS 4561-1985 is used. The foundation and floor slab is calculated by using TS500-2000.

The model of the structure and its analysis are created using Etabs v8.11 computer program. The parts of the structure are designed and connection calculations are made using the results taken from this computer software and the above mentioned specifications. Tekla Xsteel v8.0 and Autocad 2005 programs are used for the manufacturing drawings.

Based on the results obtained, the total cost and the weight of the building are calculated and compared with the findings from the data base of the current reinforced concrete building.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

1.1 Konu

Yapılan bu tez çalışmasında Yüksel Yapı Yatırım A.Ş. firması tarafından 2003 yılında inşaatı tümüyle betonarme olarak tamamlanmış olan, İstanbul 1. Levent'te bulunan Metrocity binasının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez güçlendirilmiş çelik perde sistemli çelik tasarımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar binanın mevcut betonarme verileriyle maliyet, yapım süresi ve yatırımın geri dönüşü bakımından karşılaştırılmıştır.

1.2 Projenin Genel Özellikleri

Dünyanın önemli metropollerinden biri olan İstanbul'da inşa edilmiş olan bu yapı kompleksi; Levent'te 24.000 m²'lik bir arsa üzerine kurulu, kat karşılığı arsa değerlendirme projesidir. Metrocity Projesi 5 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan Metrocity Millenium; toplam 45.500 m²'lik 27 katlı iki konut kulesidir ve içerisinde büyüklükleri 121 ile 370 m² arasında değişen daireler bulunmaktadır. Kompleksin diğer bölümleri ise; 23 kattan oluşan, toplam 16.500 m²'lik ofis kulesi, sosyal tesisler, 52.000 m²'lik alışveriş merkezi ve bunlara ait 85.000 m²'lik, 2.300 araç kapasiteli otoparktan oluşmaktadır. Toplam 215.000 m²'lik inşaat alanı ile İstanbul'un en büyük projelerinden birisi olan Metrocity projesi, yüksek inşaat teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Alışveriş merkezine 30 dakikalık bir zaman içinde ulaşabilen kişi sayısı yaklaşık 2.300.000'dir.

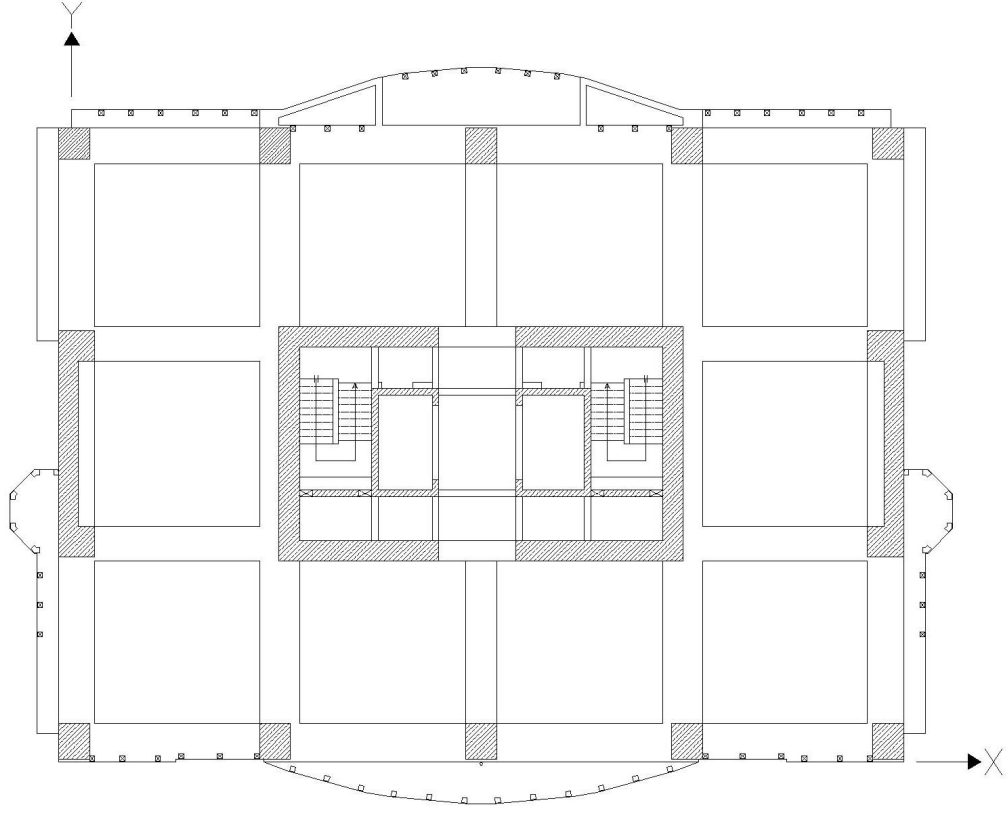
1.3 Yapının Mimari ve Betonarme Özellikleri



Yukarıdaki resimden de görülebileceği gibi Metrocity projesi genel olarak 3 adet binadan ve bunları birleştiren 3 ~ 4 katlı yapılardan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında bu yapılardan, aynı mimari ve statik özelliklere sahip, resimde sol kısımda bulunan iki aynı tip yapı incelenmiştir.

Yapı 24 m × 32 m'lik dikdörtgen bir plana sahip 8 bodrum, zemin, 28 normal ve 3 çatı katı ile toplam 40 katlı bir binadır. Bodrum katlar otopark amaçlı kullanılmakta, zemin, 1, 2, 3 ve 4. normal katlarda alışveriş merkezi, mağazalar ve lokantalar bulunmakta, üstte bulunan 24 kat ise konut amaçlı kullanılmaktadır. Brüt kat alanı konsol kısımlarla birlikte 835 m² olan binanın toplam kullanım alanı 30.033 m²'dir.

Kat yükseklikleri bodrum katlarda 3.3 m ile 5 m arasında, alışveriş merkezi olan ilk 4 katta 4.4 m ile 6 m arasında değişmekte, konut olarak kullanılan katlarda ise 3.3 m'dir. Yapının zeminden itibaren toplam yüksekliği 103.1 m, zeminden itibaren temel üstüne kadar olan derinlik 31.3 m'dir. Dolayısıyla toplam yapı yüksekliği 134.4 m'dir. (Kat alanı küçük olan 3 adet çatı katı da dahil edilirse toplam yükseklik 148.55 m'dir.)



Şekil 1.1: Betonarme Kat Kalıp Planı

Yapı İstanbul'da bulunduğundan 1. derece deprem bölgesindedir. Yapı zemin sınıfı Z1 ve zemin emniyet gerilmesi $\sigma_z = 5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 'dir.

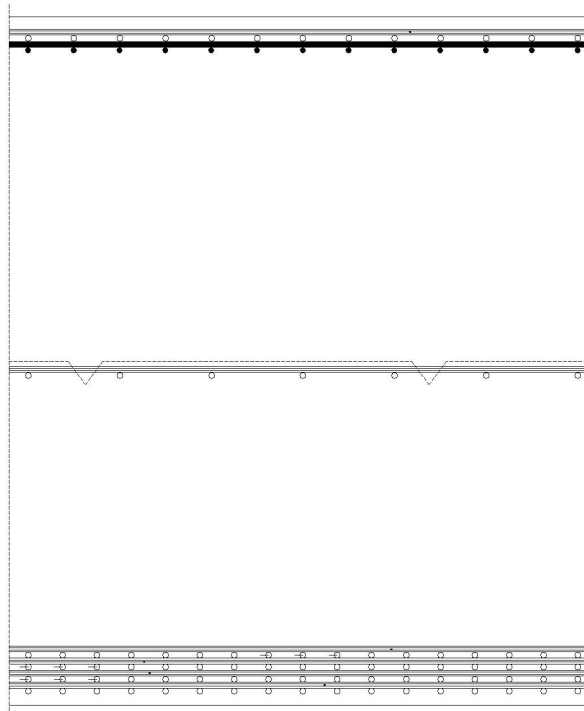
Binanın mevcut betonarme statik projelendirmesi Balkar Mühendislik Bürosu tarafından yapılmıştır. Şekil 1.1'den görülebileceği gibi betonarme taşıyıcı sistem simetrik bir şekilde tasarlanmıştır. Aks aralıkları x ve y doğrultusunda eşit olup 8 m'dir. Bina dış sınırlarına x doğrultusunda dikdörtgen kolonlar, y doğrultusunda rijit perdeler yerleştirilmiş ve bunlar birbirlerine geniş kirişlerle bağlanarak çerçeveler oluşturulmuştur. Orta kısımda ise asansör boşluğu çevresine ve merdiven çevresine iç içe perdeler yerleştirilmiş ve bunlar yine geniş kirişler aracılığıyla dış kısımdaki kolon ve perdelerle bağlanmıştır. 120 cm×140 cm boyutundaki kolonlar, 75 cm kalınlığındaki dış perdeler ve iç çekirdek kısmındaki 80 cm ve 25 cm kalınlığındaki perdelerle yapı yatay yüklere karşı aşırı rijit bir görüntü sergilemektedir. Bu boyutlar üst katlara çıkıldıkça azaltılmıştır. En üst katta kolon boyutları 50 cm×130 cm'e, iç kısımdaki perde kalınlığı ise 60 cm'ye indirilmiştir.

Dış kısımda y doğrultusunda bulunan perdeler de üst katlara doğru parçalara ayrılmış ve en üst katta 4 ayrı kolon şeklinde çalıştırılmıştır. İlk katlardaki dikdörtgen kolonların her birinde 46 adet Ø32 donatı bulunmaktadır.

Döşemeler 20 cm kalınlığında plak döşeme olarak tasarlanmıştır. Donatı olarak her iki doğrultuda da açıklık bölgelerinde 15 cm arayla, mesnet bölgelerinde 10 cm arayla Ø10 konulmuştur. Kiriş boyutları ise 155 cm×60 cm ile 120 cm×60 cm arasında değişmektedir. Dış cephe kaplamasının montajı için konsol döşemelerin ucuna çelik profillerin oturtulabilmesi için 20 cm genişliğinde plakalar yerleştirilmiştir.

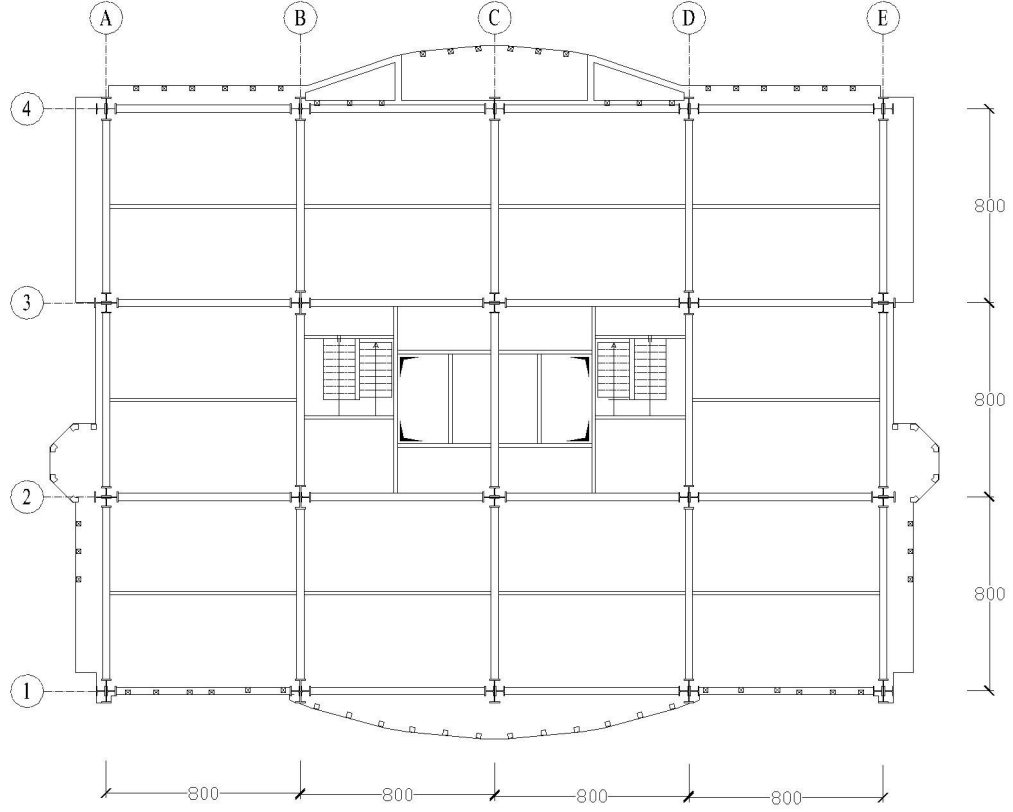
Bina temeli radye temel olarak tasarlanmış olup 3 m yüksekliğindedir. Şekil 1.2'den görülebileceği gibi temel alt bölgesine her bir doğrultuda 15 cm arayla 4 kat Ø32, orta bölgeye 40 cm arayla Ø14 ve üst bölgeye 20 cm arayla 2 kat Ø26 konularak toplam yaklaşık 800 ton demir döşenmiştir. Bodrum kat perdeleri temel hizasında 40 cm kalınlığında tasarlanmış, zemin kata doğru aralıklarla azaltılarak 25 cm'ye kadar indirilmiştir ve yatay ve düşey doğrultuda 15 cm arayla Ø16 ile donatılmıştır.

Binada malzeme olarak BS 35 hazır beton ve BÇ I, BÇ III betonarme donatı çeliği kullanılmıştır.



Şekil 1.2: Betonarme Yapı Radye Temel Kesiti

1.4 Çelik Olarak Tasarlanan Yapının Özellikleri



Şekil 1.3: Çelik Olarak Tasarlanan Kat Planı

Göz önüne alınan Metrocity binası süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çapraz perdeli bir çelik yapı olarak yeniden tasarlanmıştır. Bu tasarım sırasında Bölüm 1.3’de tanımlanmış ve Şekil 1.1’de belirtilmiş olan mevcut binanın, dış sınırları, aks aralıkları, kat yükseklikleri, kolon ve kiriş konumları gibi ölçü ve özelliklerine sadık kalınmıştır.

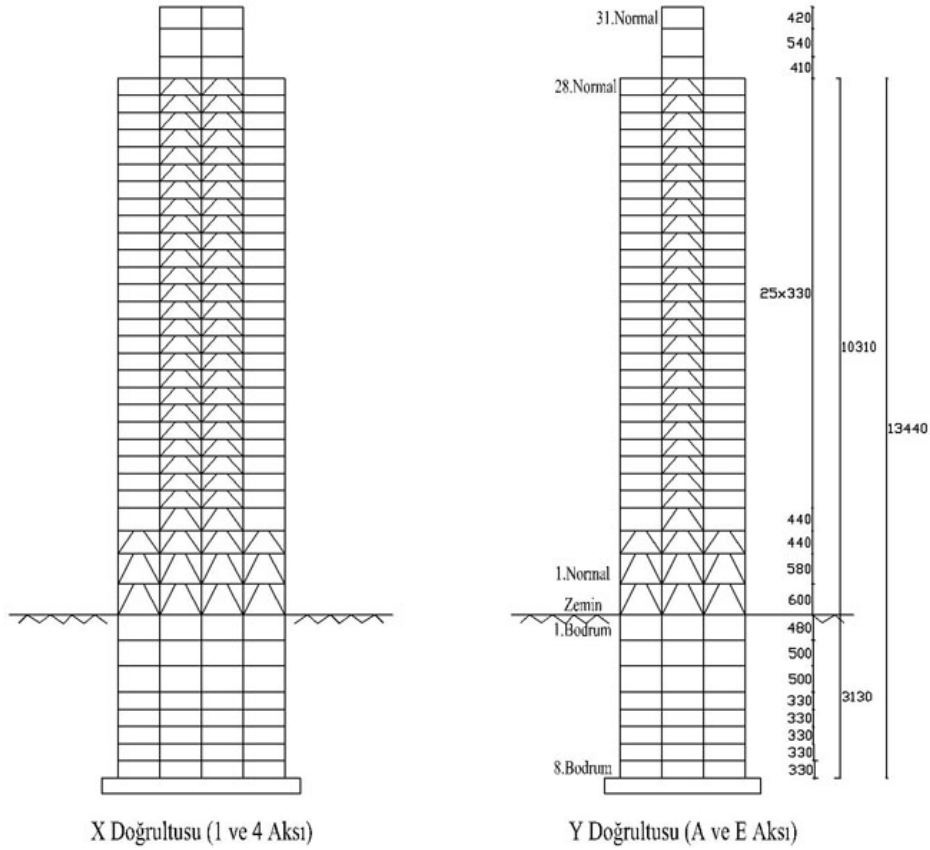
Çelik yapı elemanları Arbed profillerinden seçilmiştir. Kompaktlık şartlarının sağlanabilmesi için ağırlıklı olarak HE-B ve IPE tipi kesitler tercih edilmiştir. Yapı çeliği olarak kolon, kiriş, çapraz ve tali döşeme kiriş elemanları için St52 kalitesinde çelik kullanılmıştır. Birleşimlerde H10.9 kalitesinde SL ve SLP tipi yüksek mukavemetli bulonlar tercih edilmiştir. Temel ve döşeme betonlarında mevcut yapıdaki gibi BS35 hazır beton ve BÇ III donatı çeliği kullanılmıştır.

Döşemelerde katlanmış çelik sac levhalar ile beton birlikte kullanılarak kompozit döşeme çalışması öngörülmüş ve bu levhaların kayma elemanlarıyla ana ve tali kirişlere bağlanmasıyla kompozit döşeme kirişleri oluşturulmuştur. Beton kalınlığı 15 cm olarak düşünülmüş ve bu sayede 20 cm döşeme kalınlığına sahip mevcut yapıya oranla beton tasarrufu sağlanmıştır.

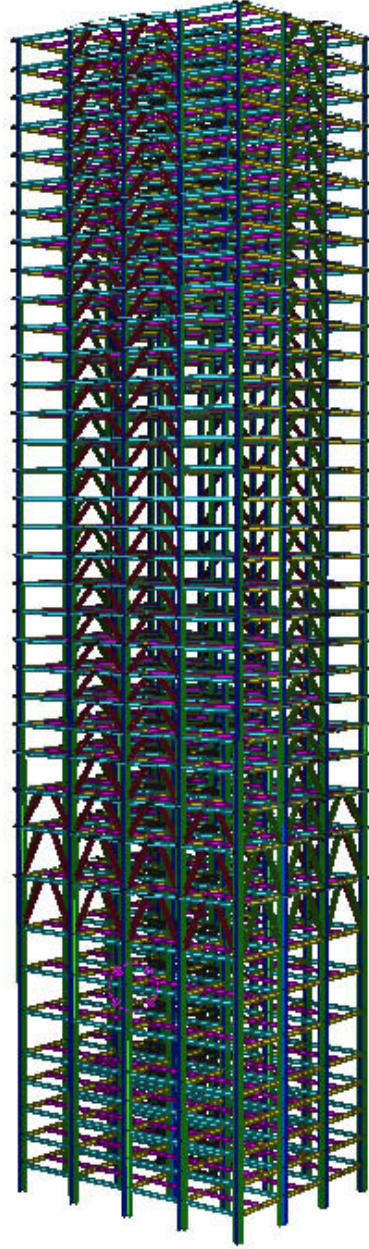
Kolon kesitleri, böyle bir yüksek yapının düşey yüklerini temele aktarabilecek enkesit alanına sahip olabilmesi ve her iki doğrultuda da çerçeve davranışının daha sağlıklı bir şekilde sağlanabilmesi için iki hadde profilinin kaynakla sürekli birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Kesitler 5 ve 10. normal katlarda küçültülerek malzeme tasarrufu sağlanmış ve yapı ağırlığı azaltılmıştır.

Yapının temeli radye temel olarak tasarlanmıştır. Temel yüksekliği olarak betonarme yapıya oranla daha az yük etkisinde kalacağı düşünülerek 2 m uygun görülmüştür.

Yapı sisteminin statik ve dinamik analizi için Etabs v8.11 bilgisayar programı kullanılmıştır. Programda yapı sistemini temsilen bir model hazırlanmış, hesaplanan



Şekil 1.4: X ve Y Doğrultusundaki Çapraz Yerleşimi



Şekil 1.5: Yapının 3 Boyutlu Modeli

yatay ve düşey yük kombinasyonları bu modele etkililmiş, eleman kesit ve malzeme özellikleri atanmış ve analiz yaptırılarak en büyük kesit tesirleri bulunmuştur. Temelde zemin gerilme kontrolü ve donatı hesabı için de Etabs bilgisayar programında bir model hazırlanmıştır.

Çizimler için Tekla Xsteel v8.0 ve Autocad 2005 programları kullanılmıştır.

1.5 Kullanılan Yönetmelikler, Kombinasyonlar ve Malzeme Emniyet Değerleri

Yapı elemanlarına etkiyen yüklerin hesaplanmasında TS 498-1997 (Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) dikkate alınmıştır. Deprem yüklemesi ile ilgili kriterler için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2006 (Bundan böyle TDY olarak anılacaktır) kullanılmıştır. Ayrıca çelik yapı elemanları hesapları ile ilgili TS 648-Taslak 2006 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) ve TS 4561-1985 (Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları) dikkate alınmıştır. Kaynaklı birleşimler için TS 3357-1979 ve İMO-01.R-01-2005'den yararlanılmıştır. Rüzgar yükünün hesaplanmasıyla ilgili kurallar Kanada Rüzgar Şartnamesi'nden alınmıştır. Betonarme temel ve döşeme hesapları ise TS 500-2000'e (Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) göre yapılmıştır.

Çelik yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan yükleme kombinasyonları AISC - ASD'ye göre belirlenmiştir. Bu kombinasyonlar aşağıda görülmektedir;

1. D
2. $D + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
3. $D + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + T$
4. $D + (W \text{ veya } E) + T$
5. $[D + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (W \text{ veya } E)]$
6. $D + L + W + 0.5S$
7. $D + L + (0.5W \text{ veya } S)$
8. $[D + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (W \text{ veya } E) + T]$

Esas yüklerle birlikte ilave yüklerin etkimesi halinde emniyet gerilmesindeki artış durumunu bilgisayar modeline yansıtabilmek için yukarıdaki kombinasyonlardan 3, 4, 5, 6 ve 7 no'lu olanlar 0.75 ile 8 no'lu olan ise 0.66 ile çarpılarak bilgisayara girilmiştir. Birleşimlerin hesabı için ayrıca bu katsayılar olmaksızın da yükleme yapılmıştır.

Betonarme radye temel için ise TS500'deki aşağıdaki kombinasyonlar kullanılmıştır;

1. $1.4 G + 1.6 Q$
2. $G + 1.2 Q + 1.2 T$

3. $G + 1.3 Q + 1.3 W$
4. $0.9 G + 1.3 W$
5. $G + Q + E$
6. $0.9 G + E$
7. $1.4 G + 1.6 Q + 1.6 H$
8. $0.9 G + 1.6 H$

D, G:Ölü yük

L, Q : Döşeme hareketli yükü

L_r : Çatı hareketli yükü

S : Kar yükü

R : Yağmur yükü

W : Rüzgar yükü

E : Deprem yükü

T : Sıcaklık değişimi

H : Yanal toprak yükü

Hesaplarda kullanılan yapı çeliği St37 ve St52 ile ilgili malzeme karakteristikleri aşağıda verilmiştir;

$$E_{\text{çelik}} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \quad \rho_{\text{çelik}} = 78.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

St37 İçin

$$\sigma_a = 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{çem},H} = 14.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{çem},HZ} = 16.56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{em,H} = 8.31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{em,HZ} = 9.56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

St52 İçin

$$\sigma_a = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{çem},H} = 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{çem},HZ} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{em,H} = 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{em,HZ} = 15.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Hesaplarda kullanılan beton ve betonarme çeliği ile ilgili malzeme karakteristikleri aşağıda verilmiştir;

$$\rho_{\text{betonarme}} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

BS 35 İçin

$$f_{ck} = 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{cd} = 2.33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{ctd} = 0.14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E_{\text{beton}} = 3300 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

BC III İçin

$$f_{yk} = 42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yd} = 36.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Birleşimlerde kullanılan bulon ve kaynaklarla ilgili malzeme karakteristikleri aşağıda verilmiştir;

10.9 Sınıfı yüksek mukavemetli bulonlar için, St52 birleşimlerinde;

SL Tipi Bulonlar İçin

$$\tau_{sem,H} = 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{sem,HZ} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,H} = 42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,HZ} = 47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Öngerilme $\geq 0.5 P_v$ alındığında;

$$\sigma_{lem,H} = 57 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,HZ} = 64 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

SLP Tipi Bulonlar İçin

$$\tau_{sem,H} = 28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{sem,HZ} = 32 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,H} = 48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,HZ} = 54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Öngerilme $\geq 0.5 P_v$ alındığında;

$$\sigma_{lem,H} = 63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{lem,HZ} = 71 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Tablo 1.1: Elektrod Mekanik Özellikleri

ELEKTROD	Akma Dayanımı (% 0,2) (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (min) (MPa)	Uzama (min) (%)	Charpy V Enerjisi (J)
E7016-X, E7018-X	400	490	25	-
E8015-X, E8016-X, E8018-X	470	560	19	-
E8016-C1, E8018-C1	470	560	19	24°C-27
E8016-C3, E8018-C3	478-560	560	24	4°C-27
E10016-D2, E10018-D2	610	700	16	15°C-27
E11018-M	690-770	770	20	15°C-27

İMO-01.R-01'e göre köşe kaynak dikişleri için kaynak emniyet gerilmesi ilave metalin (elektrod malzemesi) çekme dayanımının %30'u kadar alınacaktır. Elektrodlar için Askaynak A.Ş. firmasının hazırladığı [25] no'lu kaynaktan yararlanılmıştır.

$$\text{E8016 - C1 tipi elektrod için; } \sigma_{v,H} = 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HZ} = 19.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HE} = 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{E10016 - D2 tipi elektrod için; } \sigma_v = 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HZ} = 24.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HE} = 27.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{E11018 - M tipi elektrod için; } \sigma_v = 23.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HZ} = 26.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{v,HE} = 30.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$\sigma_{v,HE}$: Deprem durumu söz konusu olduğunda kullanılacak emniyet gerilmesi

BÖLÜM 2 YÜK ANALİZİ

2.1 Sabit Yükler

Sabit yükler TS498 yönetmeliği uyarınca belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre, sabit yükler yapı içerisindeki tüm elemanların ağırlıklarının oluşturduğu statik kuvvetler olarak tanımlanmıştır. Hesaplanan bu yükler döşemelere etkilmiştir.

İç Kısımdaki Döşemelerde

$$\begin{aligned} \text{Kaplama, asma tavan ve sıva ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{Tesisat ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{7 cm Şap beton ağırlığı} & \dots\dots\dots = 1.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{Bölme duvar ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \hline g & = 3.09 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Dış Kısımdaki Döşemelerde

$$\begin{aligned} \text{Kaplama, asma tavan ve sıva ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{Tesisat ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{7 cm Şap beton ağırlığı} & \dots\dots\dots = 1.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{Bölme duvar ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \text{Cephe kaplaması ağırlığı} & \dots\dots\dots = 0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \hline g & = 3.59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Tanımlanan taşıyıcı elemanların öz ağırlıkları Etabs bilgisayar programı tarafından yapı çözümlenirken otomatik olarak hesaplanıp etkilmiştir [10].

2.2 Hareketli Yükler

Yapının 8 adet bodrum katında otopark, ilk 5 katında alışveriş merkezleri, mağazalar ve lokantalar bulunmakta, üstteki 23 kat ise konut amaçlı kullanılmaktadır. Bu sebeple;

$$8 \text{ Bodrum kat ve ilk 5 kat için } q = 5.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2},$$

$$\text{Üstteki 24 kat için } q = 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ alınmıştır.}$$

2.3 Rüzgar Yükleri

Rüzgar yüklerinin belirlenmesinde Kanada Şartnamesi dikkate alınmıştır. [13]

$$P = q \times C_e \times C_g \times C_p \quad (2.1)$$

P : Rüzgar basıncı

q : Ortalama hızdan meydana gelen rüzgar yükleri

C_e : Bölge faktörü

C_g : Fırtına faktörü

C_p : Dış basınç katsayısı

$$q = C \times V^2 \quad (2.2)$$

$$q_r = P \times L \quad (2.3)$$

q_r : Kolonların 1 m'lik kısmına etkiyen rüzgar yükü

L : Kolonun yk aldığı aks aralığı

$$C = 50 \times 10^{-6}$$

$$V = 90 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$q = 50 \times 10^{-6} \times 90 = 0.41 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (2.2)$$

Tablo 2.1: Yüksekliğe Bağlı C_e Bölge Faktörü Katsayısı Değerleri

H (m)	C_e	H (m)	C_e
0 - 6	0.9	30 - 44	1.3
6 - 12	1.0	44 - 64	1.4
12 - 20	1.1	64 - 85	1.5
20 - 30	1.2	85 - 140	1.6

$$C_g = 2$$

$$C_p = 0.8 \text{ (Rüzgarın basınç yaptığı dik cephede)}$$

$$C_p = -0.5 \text{ (Rüzgarın emme yaptığı dik cephede)}$$

$$P_{\text{basınç}} = 0.41 \times C_e \times 2 \times 0.8 = 0.656 \times C_e \quad (2.1)$$

$$P_{\text{emme}} = 0.41 \times C_e \times 2 \times (-0.5) = -0.41 \times C_e \quad (2.1)$$

Yapı, şartnameye göre C bölgesinde bulunduğundan ilk 30 m'lik kısım için 30 m'deki rüzgar basıncı baz alınarak üniform bir yükleme yapılacaktır. [13]

$$0 - 30 \text{ m için; } P_{\text{basınç}} = 0.656 \times 1.2 = 0.787 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, P_{\text{emme}} = -0.41 \times 1.2 = -0.492 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$30 - 44 \text{ m için; } P_{\text{basınç}} = 0.656 \times 1.3 = 0.853 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, P_{\text{emme}} = -0.41 \times 1.3 = -0.533 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$44 - 64 \text{ m için; } P_{\text{basınç}} = 0.656 \times 1.4 = 0.918 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, P_{\text{emme}} = -0.41 \times 1.4 = -0.574 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$64 - 85 \text{ m için; } P_{\text{basınç}} = 0.656 \times 1.5 = 0.984 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, P_{\text{emme}} = -0.41 \times 1.5 = -0.615 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

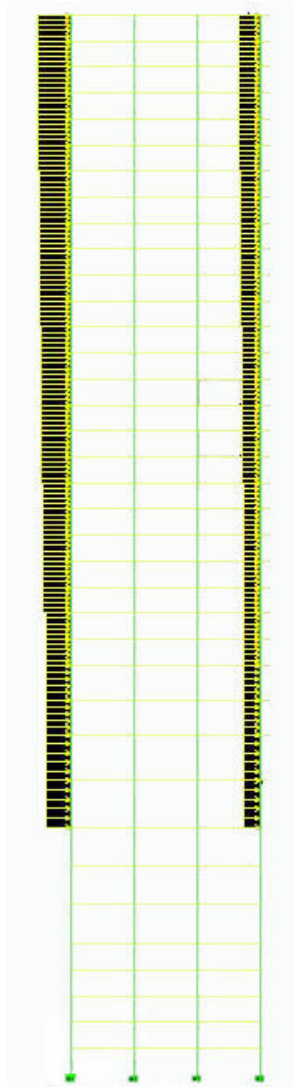
$$85 - 140 \text{ m için; } P_{\text{basınç}} = 0.656 \times 1.6 = 1.049 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, P_{\text{emme}} = -0.41 \times 1.6 = -0.656 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Köşe kolonlar için; $L = 4 \text{ m}$

Orta kolonlar için; $L = 8 \text{ m}$

Tablo 2.2: Rüzgar Yüğü Değerleri (kN / m)

H (m)	$q_{r,basınç}$ (Köşe Kolonlarda)	$q_{r,basınç}$ (Orta Kolonlarda)	$q_{r,emme}$ (Köşe Kolonlarda)	$q_{r,emme}$ (Orta Kolonlarda)
0 – 30	3.15	6.3	- 1.97	- 3.94
30 – 44	3.41	6.82	- 2.13	- 4.26
44 – 64	3.67	7.34	- 2.3	- 4.6
64 – 85	3.94	7.88	- 2.46	- 4.92
85 – 140	4.2	8.4	- 2.62	- 5.24



Şekil 2.1: Rüzgar Yüğü Etkitilme Şekli

2.4 Toprak Yüğü

Binanın betonarme bodrum perdelerine etkiyen toprak yüğü bu bölümde hesaplanmıştır. Zemine ait bilgilere ulaşamadığından hesapların yapılabilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Yapının üzerine inşa edildiğı zemin türü orta sıkılıkta iyi derecelenmiş az kumlu çakıldan oluşmaktadır. Buna göre zemin tabii birim hacim ağırlığı $\gamma_0 = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$, kayma direnci açısı $\phi = 35^\circ$ alınacaktır. [3]
- Zemin üzerinde $P = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ yayılı yük mevcuttur.
- Zemin boşluk oranı $n = 0.4$ alınacaktır.
- Binanın temel seviyesinde drenaj yapılmıştır. Dolayısıyla bodrum perdelerine su basıncı etkimemektedir.

$$P_A = \gamma \times H \times K_A \quad (2.4)$$

P_A : Perdeye etkiyen aktif basınç

$$\gamma_k = (1 - 0.4) \times 18 = 10.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

H: Perde yüksekliğı

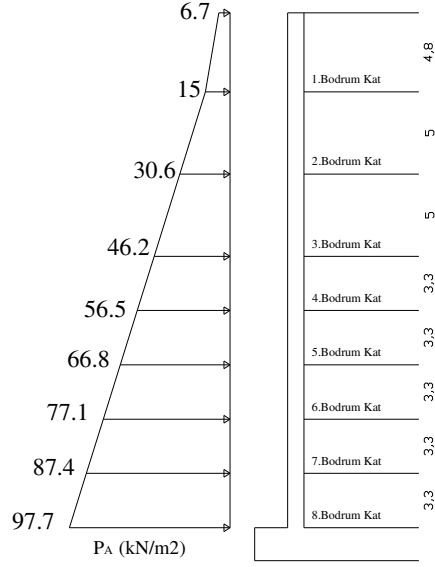
Zemin üzerindeki yayılı yük toprak basıncına dönüştürölürse;

$$h = \frac{P}{\gamma} = \frac{25}{10.8} = 2.31 \text{ m}$$

$$H = 31.3 + 2.31 = 33.51 \text{ m}$$

$$K_A = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) = \tan^2(45 - \frac{35}{2}) = 0.27$$

$$P_A^{\text{üst}} = 10.8 \times 2.31 \times 0.27 = 6.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2: Bodrum Perdelerine Etkiyen Toprak Basıncı Dağılımı

$$P_A^{\text{alt}} = 10.8 \times 33.51 \times 0.27 = 97.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (2.4)$$

Toprak basıncının zemin seviyesindeki değeri ile temel seviyesindeki değerine göre ara katlar doğru orantı hesabı ile bulunacaktır.

2.5 Deprem Yüğü

Yapının deprem yükü hesabı TDY kurallarına göre yapılmıştır. Yapının deprem yükü analizi ile ilgili tüm yapı ve zemin parametreleri, bu yönetmeliğin ışığı altında değerlendirilmiş ve yönetmeliğin uygun gördüğü değerler hesaplarda kullanılmıştır. Yapı üç boyutlu olarak Etabs v8.11 bilgisayar programı ile modellenmiş olup yatay yük analizinde bina toplam yüksekliği olan $H_N > 40$ m olduğundan eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanamamış, mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. [1]

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam taban kesme kuvveti V_t , denklem (2.5) ile hesaplanacaktır; [1]

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{Ra(T_1)} \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad (2.5)$$

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (2.6)$$

Tablo 2.3: Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 2.4: Hareketli Yük Katılım Katsayısı

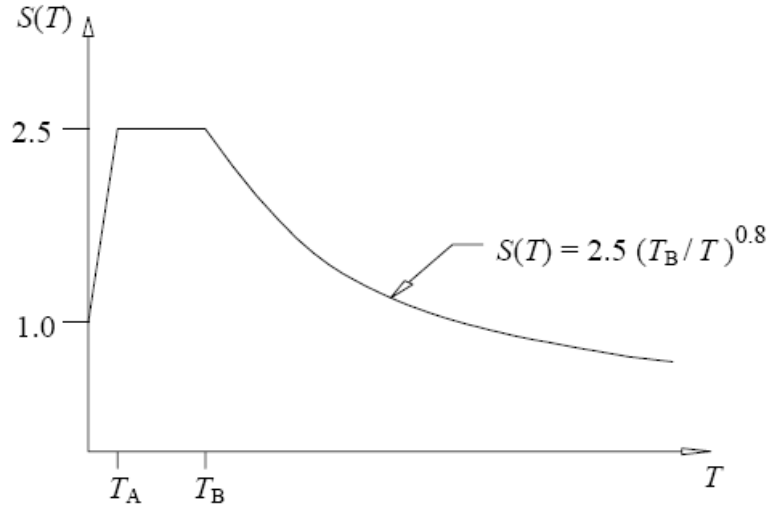
Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Tablo 2.5: Spektrum Karakteristik Periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T _A (saniye)	T _B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Tablo 2.6: Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0



Şekil 2.3: Tasarım Spektrum Diyagramı

Denklem (2.6)'de yer alan spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak denklem (2.7) ile hesaplanacaktır (Şekil 2.3).

$$S(T) = 1 + 1.5 T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.7a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.7b)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (2.7c)$$

Yapılan Kabuller

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R için, deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte dışmerkez çaprazlı çelik perdeler ile taşındığı süneklik düzeyi yüksek sistemler için geçerli olan $R = 8$ değeri alınmıştır
- Yapı 1. derece deprem bölgesinde olup Tablo 2.3'den $A_0 = 0,40$ alınmıştır.
- Yapının deprem hesabına esas olan kütesinin hesabında kullanılacak olan hareketli yük katılım katsayısı Tablo 2.4'den $n = 0.30$ alınmıştır
- Yapı yerel zemin sınıfı $Z1$ kabul edilmiş ve Tablo 2.5'den karakteristik periyotlar $T_A = 0,10$ ve $T_B = 0,30$ alınmıştır.
- Bina önem katsayısı olan I için Tablo 2.6'dan, konut ve işyeri olan binalar için geçerli olan $I = 1.0$ alınmıştır.

Etabs bilgisayar programı yapının ağırlığını otomatik olarak hesaplayıp sisteme etkitmektedir. Denklem (2.5) ve (2.6)'da geçen $S(T)$ değeri için denklem (2.7)'de geçen ifadeler hesaplanmış ve programa spektrum fonksiyonu olarak girilmiştir.

Ayrıca denklemlerdeki A_0 , I ve R değerleri için aşağıdaki scale factor hesaplanmış ve programa girilerek modal analiz yapılmıştır.

$$\text{Scale factor} = \frac{A_0 \times g \times I}{R} = \frac{0.4 \times 9.81 \times 1}{8} = 0.49$$

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının, hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin %5'inden büyük olan bütün titreşim modları göz önüne alınacaktır. [1]

Modal analiz sonuçları Tablo 2.7'de verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi X yönünde yeterli kütle katılım oranı 38. modda, Y yönünde ise 45. modda sağlanmıştır.



Şekil 2.4: Yapının Birinci Mod Şekli

Tablo 2.7: Modal Analiz Kütle Katılım Oranları

Mod	Periyod	UX	UY	ΣUX	ΣUY
1	6,9288	0,0000	47,5428	0,0000	47,5428
2	5,6841	49,5939	0,0000	49,5939	47,5428
3	4,4332	0,0078	0,0000	49,6017	47,5428
4	2,2284	0,0000	9,8978	49,6017	57,4406
5	1,8802	9,2451	0,0000	58,8468	57,4406
6	1,4542	0,0006	0,0000	58,8474	57,4406
7	1,2034	0,0000	3,2850	58,8474	60,7256
8	1,0135	2,5655	0,0000	61,4129	60,7256
9	0,8148	0,0000	1,6338	61,4129	62,3594
10	0,7885	0,0001	0,0020	61,4130	62,3615
11	0,6940	1,2203	0,0000	62,6333	62,3615
12	0,6094	0,0000	1,1150	62,6333	63,4765
13	0,5405	0,0000	0,0000	62,6333	63,4765
14	0,5243	0,8516	0,0000	63,4850	63,4765
15	0,4848	0,0000	0,9342	63,4850	64,4107
16	0,4209	0,7153	0,0000	64,2003	64,4107
17	0,4088	0,0001	0,0036	64,2004	64,4143
18	0,4028	0,0000	0,8501	64,2004	65,2644
19	0,3521	0,6192	0,0000	64,8196	65,2644
20	0,3415	0,0000	0,6967	64,8196	65,9612
21	0,3289	0,0001	0,0011	64,8196	65,9623
22	0,2998	0,4835	0,0000	65,3032	65,9623
23	0,2947	0,0000	0,6572	65,3032	66,6195
24	0,2753	0,0001	0,0003	65,3032	66,6198
25	0,2596	0,4307	0,0000	65,7339	66,6198
26	0,2570	0,0000	0,8881	65,7339	67,5079
27	0,2349	0,0000	0,0001	65,7339	67,5080
28	0,2277	0,5149	0,0000	66,2488	67,5080
29	0,2275	0,0000	1,9429	66,2488	69,4509
30	0,2067	0,0000	9,2999	66,2488	78,7507
31	0,2035	0,0000	0,0071	66,2488	78,7578
32	0,2018	0,8542	0,0000	67,1030	78,7578
33	0,1947	0,0000	9,0202	67,1030	87,7780
34	0,1822	2,4699	0,0000	69,5729	87,7780
35	0,1790	0,0013	0,0685	69,5742	87,8465
36	0,1784	0,0000	1,7590	69,5743	89,6055
37	0,1680	8,9370	0,0000	78,5112	89,6055
38	0,1633	0,0000	0,9103	78,5112	90,5158
39	0,1587	0,0354	0,0003	78,5466	90,5160
40	0,1576	7,4962	0,0000	86,0428	90,5160
41	0,1503	0,0000	0,5366	86,0428	91,0526
42	0,1470	3,8213	0,0000	89,8641	91,0526
43	0,1431	0,0018	0,0000	89,8659	91,0526
44	0,1398	0,0000	0,3269	89,8659	91,3795
45	0,1365	1,6519	0,0000	91,5178	91,3795

Ux: X yönündeki etkin kütle katılım oranı

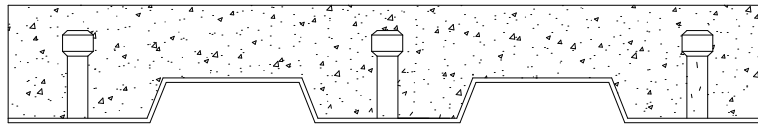
Uy: Y yönündeki etkin kütle katılım oranı

BÖLÜM 3 YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

Yapı elemanları boyutlandırılırken kombinasyonlar sonucunda elemanda oluşan en büyük iç kuvvetler dikkate alınmış, TS648 ve TDY' de verilen hesap yöntemleri ve boyutlandırma esaslarına uyulmuştur. Ayrıca TDY' de belirtilmiş olan kompaktlık sınırlarına göre de gerekli eleman enkesit kontrolleri yapılmıştır.

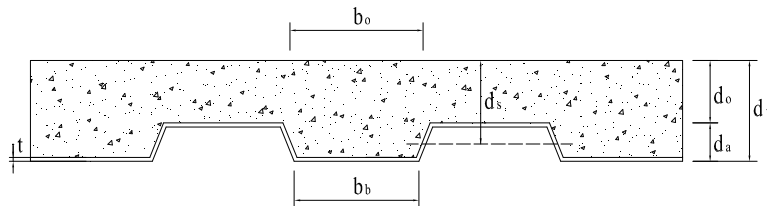
3.1. Kompozit Döşemenin Boyutlandırılması

Yapı döşemeleri katlanmış çelik sac ile betonun birlikte uygulanmasıyla oluşan kompozit döşeme olarak tasarlanmıştır. Sac ile betonun beraber çalışması için aralarındaki aderans yeterli değildir. Bu sebeple aderansın sağlanması için çelik kamalar kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Kompozit Döşemede Beton ve Sac Çelik Kama Bağlantısı

Plak bir miktar hasır donatı ile güçlendirilmiştir. Hasır donatı konulmasının sebebi yükün homojen dağıtılması ve yangın mukavemetinin arttırılmasıdır. Korozyona dayanıklı olması açısından galvanize sac kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Sac Levha ve Plağın Boyutları

Kompozit döşemede aşağıda görülen boyutlar sağlanmalıdır (Şekil 3.2):

$$\begin{aligned} b_0 &\geq 50 \text{ mm} \\ d_0 &\geq 50 \text{ mm} \\ d_t &\geq 90 \text{ mm} \\ d_a &\leq 80 \text{ mm} \\ t &\geq 0.7 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Kompozit döşemedeki çekme kuvveti (Z) ve ağırlık merkezinin yeri (y) hesaplandıktan sonra moment taşıma kapasitesi (M_u) hesaplanacaktır.

$$Z = \alpha_a \times \sigma_F \times A_s \quad (3.2)$$

α_a = Çelik emniyet katsayısı

σ_F = Akma sınır gerilmesi

$$\text{Çelik sac için; } \sigma_F = 22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

A_s = Katlanmış çelik sac enkesit alanı

$$y = \frac{Z}{\alpha_b \times \sigma_{br} \times (100 \text{ cm})} \leq \begin{cases} d_o \\ d_s / 2 \end{cases} \quad (3.3)$$

α_b = Beton emniyet katsayısı

σ_{br} = Beton emniyet gerilmesi

$$M_u = Z \times \left(d_s - \frac{y}{2} \right) \quad (3.4)$$

Kompozit kirişin etkin döşeme genişliği (b_{eff})'e bağlı olarak kompozit kirişte beton etkin genişliği (b^*) saptanır. Burada (n), beton ve çeliğin elastisite modüllerinin oranıdır. Öte yandan sehim de (f_{max}) kirişlerin tasarımını kontrol etmektedir.

$$b^* = \frac{b_{\text{eff}}}{2 \times n} \quad (3.5)$$

$$f_{\text{max}} = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^2}{E \times I} \quad (3.6)$$

3.1.1 Boyutların Belirlenmesi

$$b_0 = 135 \text{ mm} > \min b_0 = 50 \text{ mm}$$

$$d_0 = 80 \text{ mm} > \min d_0 = 50 \text{ mm}$$

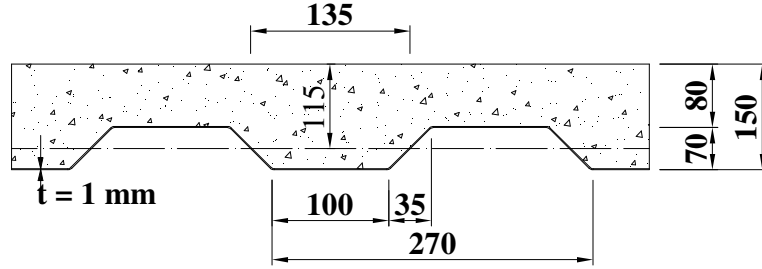
$$d_t = 150 \text{ mm} > \min d_a = 90 \text{ mm}$$

(uygun) (3.1)

$$d_a = 70 \text{ mm} < \max d_a = 80 \text{ mm}$$

$$t = 1 \text{ mm} > t_{\min} = 0.7 \text{ mm}$$

$$d_s = 80 + \frac{70}{2} = 115 \text{ mm}$$



Şekil 3.3: Kompozit Döşeme Kesiti

3.1.2 Yüklerin Belirlenmesi

Katlanmış çelik sacın enkesit alanı:

$$A_s = 2 \times \left(10 + \sqrt{3.5^2 + 7^2} \right) \times \frac{100}{27} \times 0.1 = 13.2 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Katlanmış çelik sac ağırlığı : } g_a = 0.00132 \times 1 \times 78.5 = 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Beton ağırlığı : } g_b = \left(1 \times 0.08 + \frac{1}{0.27} \times \frac{0.1 + 0.17}{2} \times 0.07 \right) \times 1 \times 25 = 2.01 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Sıva + Kaplama + Tesisat + Şap ağırlığı (10 cm) : } g' = 0.1 \times 22 = 2.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Kalıp sürecinde hesap için toplam sabit yük : } g = 0.1 + 2.01 = 2.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Kalıp sürecinde hesap için hareketli yük : } p = 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Taşıma gücü kontrolü için toplam sabit yük : $g = 0.1 + 2.01 + 2.2 = 4.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Taşıma gücü kontrolü için hareketli yük : $p = 5.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

3.1.3 Katlanmış Çelik Sacın Kalıp Sürecinde Hesabı (1 m Genişlik İçin)

Katlanmış sac, inşaat çalışmaları sırasında kalıp görevi üstlenir. Bu durumda üzerine yük olarak; kendi ağırlığı (g_a), beton ağırlığı (g_b), ve inşaat süreci hareketli (p) yükleri gelir. Katlanmış sacdaki kesit zorları sürekli kiriş kabulüyle belirlenmiş, kompozit döşeme mukavemet hesapları ise 1 metre genişliğinde döşeme şeridi için yapılmıştır. Buradaki hesaplar [11] no'lu kaynaktan yararlanılarak yapılmıştır.

$$g = 2.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$p = 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$\text{Çelik sacın atalet momenti ; } I_a = \frac{100}{27} \times 2 \times \left(\frac{0.1 \times 7^3}{12} + 0.1 \times 10 \times 3.45^2 \right) = 109.34 \text{ cm}^4$$

$$\max f = (0.00677 \times 2.11 + 0.0099 \times 2) \times 100^4 \times \frac{1}{2.1 \times 10^6 \times 109.34} = 0.015 \text{ cm}$$

$$\max f = 0.015 \text{ cm} < f_{\lim} = \frac{400}{150} = 2.667 \text{ cm}$$

$$\max |M| = (0.08 \times 2.11 + 0.117 \times 2.00) \times 1^2 = 0.183 \text{ kNm}$$

$$\max |Q| = (0.60 \times 2.11 + 0.617 \times 2.00) \times 1 = 2.50 \text{ kN}$$

$$\frac{b''}{t} = \frac{10}{0.1} = 100 > 45 \sqrt{\frac{2.35}{2.2}} = 46.5 \Rightarrow \text{Kalın cidarlı hesap yapılamaz}$$

$$b' = 10 - 2 \times 0.5 = 9 \text{ cm}$$

$$\frac{b'}{t} = \frac{9}{0.1} = 90 < 500, d'_g = \sqrt{3.5^2 + 7^2} - 2 \times 0.5 = 6.83 \text{ cm}$$

$$\frac{d'_g}{t} = \frac{6.83}{0.1} = 68.3 < 150 \Rightarrow \text{İnce cidarlı hesap yapılabilir, şöyle ki:}$$

$$\text{Elemanter sınır gerilmesi ; } \sigma = \sigma_{em} = 0.6 \times \sigma_F = 0.6 \times 22 = 13.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{b'}{t} = 90 > 1.64 \sqrt{\frac{21000}{13.2}} = 65.4 \text{ olduğundan,}$$

$$\text{Etkin genişlik ; } b_e = 1.64 \times 0.1 \times \sqrt{\frac{21000}{13.2}} = 6.54 \text{ cm}$$

$$b'' - b_e = 10 - 6.54 = 3.46 \text{ cm}$$

1 m genişlikte 4 nervür olduğu kabul edilerek ağırlık merkezinden sapma ;

$$y' = \frac{-3.46 \times 0.1 \times 4 \times 3.45}{13.2 - 3.46 \times 0.1 \times 4} = -0.404 \text{ cm (Negatif değer aşağıya kaymayı belirtmektedir)}$$

$$I_e = 109.34 - 4 \times 3.46 \times 0.1 \times 3.45^2 - (13.2 - 4 \times 3.46 \times 0.1) \times 0.404^2 = 90.94 \text{ cm}^2$$

$$W_e = \frac{90.94}{3.904} = 23.29 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{18.3}{23.29} = 0.79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

$$\tau = \frac{2.5}{2 \times (7 - 2 \times 0.1) \times 0.1 \times 4} = 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{0.79^2 + 3 \times 0.46^2} = 1.12 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.75 \times 22 = 16.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.1.4 Karma Plakta Taşıma Gücü Kontrolü

$$q = 4.31 + 5.00 = 9.31 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q^* = 1.7 \times 9.31 = 15.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\max |M| = \frac{15.83 \times 4^2}{8} = 31.66 \text{ kNm} = 3166 \text{ kNcm}$$

$$\max |Q| = \frac{15.83 \times 4}{2} = 31.66 \text{ kN}$$

$$Z = 1 \times 22 \times 13.2 = 290.4 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{290.4}{0.75 \times 4 \times 100} = 0.968 \text{ cm} < \begin{cases} d_o = 8 \text{ cm} \\ \frac{d_s}{2} = \frac{11.5}{2} = 5.75 \text{ cm} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$M_u = 290.4 \times (11.5 - \frac{0.968}{2}) = 3199 \text{ kNcm} \quad (3.4)$$

$$\max |M| = 3166 \text{ kNcm} < M_u = 3199 \text{ kNcm}$$

$$Q_{lu} = 13.5 \times 11.5 \times 0.038 + 2 \times 0.1 \times 7 \times 0.52 \times 22 = 21.92 \frac{\text{kN}}{\text{Nervür}}$$

$$Q_u = \frac{100}{27} \times 21.92 = 81.17 \text{ kN}$$

$$\max |Q| = 31.66 \text{ kN} < Q_u = 81.17 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.1.5 Sehim Kontrolü

$$\text{BS 35 için; } E_b = 3320 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$E_a = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$n = \frac{E_{\text{çelik}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{21000}{3320} = 6.33$$

$$\text{Eşdeğer kesit için; } b^* = \frac{b_{\text{eff}}}{2 \times n} = \frac{100}{2 \times 6.33} = 7.90 \text{ cm}$$

$$A_b = 7.9 \times 8 = 63.20 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 13.20 \text{ cm}^2$$

$$y_0 = \frac{63.20 \times 4.0 + 13.20 \times 3.5}{63.20 + 13.20} = 3.91 \text{ cm}$$

$$y_u = 15 - 3.91 = 11.09 \text{ cm}$$

$$I_x = \frac{7.90 \times 8^3}{12} + 63.20 \times (4.0 - 3.91)^2 + 109.34 + 13.20 \times (11.09 - 3.5)^2 = 1207.35 \text{ cm}^4$$

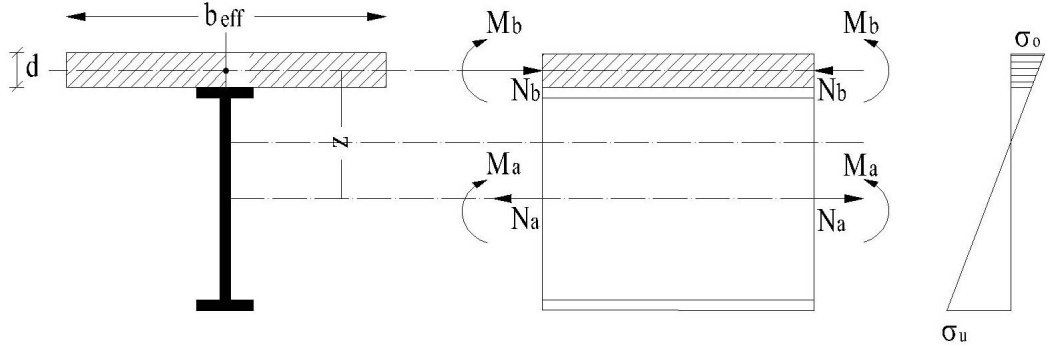
$$f = \frac{5}{384} \times \frac{0.0931 \times 400^4}{2.1 \times 10^4 \times 1207.35} = 1.22 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{400}{300} = 1.33 \text{ cm} \quad (3.6) \quad (\text{uygun})$$

Döşemelerde rijit diyafram etkisinin sağlanması için her iki doğrultuda minimum % 0.2' lik donatı konulması gerektiğinden; $A_s = 0.002 \times 15 \times 100 = 3 \text{ cm}^2$ olarak boyutlandırılacaktır.

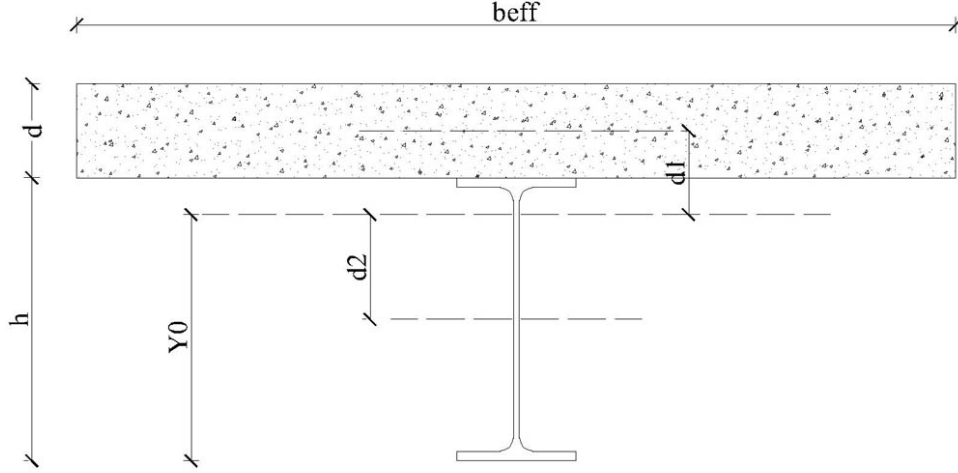
Seçilen : Q 335/335 ($A_s = 3.35 \text{ cm}^2$)

3.2 Kompozit Kat Kirişlerinin Boyutlandırılması

Betonarme döşeme plaklarıyla çelik döşeme kirişlerinin ortak çalıştırılmasıyla ortaya çıkan kompozit kirişler, üzerlerine serbestçe oturan bir betonarme plağı yalnız başlarına taşımaya çalışan çelik kirişlere göre çok ekonomiktir. Çünkü bir karma kirişte, eğilmeden ileri gelen kuvvet çiftinin çekme bileşeni çelik profil tarafından, basınç bileşeni ise yalnız betonarme plak, ya da betonarme plak ve çelik profilin bir bölümünce ortak olarak taşınmaktadır. Dolayısıyla çelik profil, eğilmenin basınç bileşenini taşımaktan ya bütünüyle, ya da büyük ölçüde kurtulmaktadır. Betonarme tablanın bir ölü yük olmaktan çıkıp basınç bileşenini taşıyan yararlı bir elemana dönüşmesinin yanı sıra, böyle bir ortak çalışmada kuvvet çiftinin z manivela kolunun da büyümesi ikinci bir ekonomik etken oluşturmaktadır. Kompozit kirişlerin hesabı plastik yöntem kullanılarak kesit etkileri dağıtımı yöntemine göre yapılmıştır. Bu hesap kesin bir hesap yöntemidir. Karma kiriş enkesitine etki eden M_0 eğilme momenti, kesiti oluşturan çelik profil ve betonarme plağa, atalet momentlerinin ideal kesitin atalet momentine oranlarına göre dağıtılır. Buradaki hesaplar [11] no'lu kaynaktan yararlanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4: Kesit Etkileri Dağıtımı Yöntemi



Şekil 3.5: Kompozit Kat Kirişi Kesiti

b_{eff} = Etkin döşeme genişliği

$$b_{eff} = \min \begin{cases} l_x \\ 1/4 \\ 16d + b_{ao} \end{cases} \quad (3.7)$$

l_x = Kirişler arası aks mesafesi

l = Kiriş açıklığı

d = Döşeme kalınlığı

b_{ao} = Çelik profil başlık genişliği

$$b^* = \frac{b_{eff}}{2 \times n} \quad (3.5a)$$

$$n = \frac{E_{çelik}}{E_{beton}} \quad (3.5b)$$

$$A_k = A_{beton} + A_{çelik} \quad (3.8a)$$

$$A_{beton} = d \times b^* \quad (3.8b)$$

$$I_k = \frac{d^3 \times b^*}{12} + A_{beton} \times d_1^2 + I_x + A_{çelik} \times d_2^2 \quad (3.9a)$$

$$y_o = \frac{A_{\text{beton}} \times (h + \frac{d}{2}) + A_{\text{çelik}} \times \frac{h}{2}}{A_k} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = h + \frac{d}{2} - y_o \quad (3.9c)$$

$$d_2 = y_o - \frac{h}{2} \quad (3.9d)$$

A_k = Kompozit kesit toplam alanı

I_k = Kompozit kesit toplam atalet momenti

y_o = Kesit ağırlık merkezinin çelik profil alt ucundan mesafesi

d_1 = Beton döşeme ağırlık merkezinin kesit ağırlık merkezine mesafesi

d_2 = Çelik profil ağırlık merkezinin kesit ağırlık merkezine mesafesi

$$Z = \alpha_a \times \sigma_F \times A_{\text{çelik}} \quad (3.2)$$

α_a = Çelik emniyet katsayısı = 0.94

σ_F = Akma sınır gerilmesi

$$y = \frac{Z}{\alpha_b \times \sigma_{br} \times b_{\text{eff}}} \leq \begin{cases} d_o \\ \frac{d_s}{2} \end{cases} \quad (3.10)$$

α_b = Beton emniyet katsayısı = 0.74

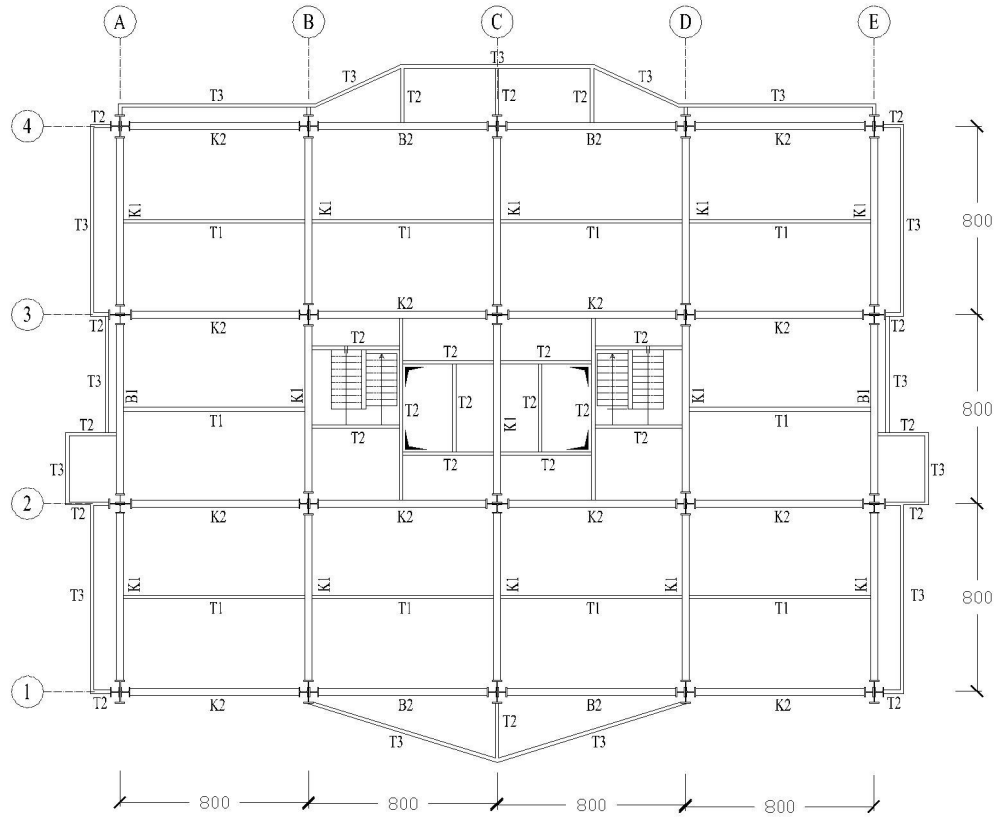
BS 35 Betonu için; $E_b = 3300 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, $\sigma_{br} = 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$$\text{Moment kolu; } h_{oa} = t_{bo} + \frac{1}{t_g} \left(\frac{F_a}{2} - b_{ao} \times t_{bo} \right) \quad (3.11)$$

t_{bo} = Çelik profil başlık kalınlığı

t_g = Çelik profil gövde kalınlığı

$$M_u = Z \times \left(h_{oa} + d - \frac{y}{2} \right) \quad (3.12)$$



Şekil 3.6: Kompozit Kat Kirişleri

Şekil 3.6’da kompozit kat kirişleri görülmektedir. Daha ekonomik sonuçlar bulmak amacıyla ana kirişler, tali kirişler, dış sınırlarda bulunan konsol kirişler ve bağlantı kirişlerinin tümü kompozit olarak tasarlanmıştır. Bu kirişlere ait Etabs bilgisayar programından alınan en elverişsiz kesit tesirleri, en büyük sehim miktarları ve bunları oluşturan yük kombinasyonları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: En Elverişsiz Kiriş Kesit Tesirleri

Kiriş	M (kNcm)	V (kN)	f (cm)	Kombinasyon
K1 Kirişi	39079	337	1,50	G+Q
K2 Kirişi	22946	114	0,50	0.75 G+Q+W2
T1 Kirişi	17831	95	0,65	G+Q
T2 Kirişi	12213	36	0,48	G+Q
T3 Kirişi	7390	35	0,42	0.75 G+Q+W1

Kesitin kompaktlık kontrolü yapılmalıdır. Bu kontrol TDY'ye göre denklem (3.13) ve (3.14) ile yapılır.

Eğilme etkisindeki I Kesitleri için:

$$\frac{b}{t} \leq 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.2 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} \quad (3.14)$$

3.2.1 K1 Kirişi Hesabı

Tablo 3.2: IPE 450 Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$
33740	1500	18.48	1676	176.4	4.12
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$d (\text{cm})$
98.82	45	19	0.94	1.46	37.88

3.2.1.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{19}{2 \times 1.46} = 6.5 < 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} = 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{45}{0.94} = 47.8 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 77 \quad \text{Kesit kompakttır} \quad (3.14)$$

3.2.1.2 Gerilme Kontrolü

$$b_{ao} = 19 \text{ cm}, t_{bo} = 1.46 \text{ cm}, t_g = 0.94 \text{ cm}$$

$$L = 8 \text{ m}, L_x = 4 \text{ m}, d = 15 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 4 \text{ m} \\ \frac{8}{4} = 2 \text{ m} \\ 16 \times 0.15 + 0.19 = 2.59 \text{ m} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \text{ m}$$

$$n = \frac{21000}{3300} = 6.36 \quad (3.5b)$$

$$b^* = \frac{200}{2 \times 6.36} = 15.72 \quad (3.5a)$$

$$A_{\text{beton}} = 15 \times 15.72 = 235.8 \text{ cm}^2 \quad (3.8b)$$

$$A_k = 235.8 + 98.82 = 334.62 \text{ cm}^2 \quad (3.8a)$$

$$y_o = \frac{235.8 \times (45 + \frac{15}{2}) + 98.82 \times \frac{45}{2}}{334.62} = 43.64 \text{ cm} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = 45 + \frac{15}{2} - 43.64 = 8.86 \text{ cm} \quad (3.9c)$$

$$d_2 = 43.64 - \frac{45}{2} = 21.14 \text{ cm} \quad (3.9d)$$

$$I_k = \frac{15^3 \times 15.72}{12} + 235.8 \times 8.86^2 + 33740 + 98.82 \times 21.14^2 = 100825 \text{ cm}^4 \quad (3.9a)$$

$$Z = 0.94 \times 36 \times 98.82 = 3344 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{3344}{0.74 \times 3.5 \times 200} = 6.46 < d = 15 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$h_{oa} = 1.46 + \frac{1}{0.94} \left(\frac{98.82}{2} - 19 \times 1.46 \right) = 24.51 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$M_u = 3344 \times \left(24.51 + 15 - \frac{6.46}{2} \right) = 121320 \text{ kNcm} \quad (3.12)$$

$$M_{\text{max}} = 39079 \text{ kNcm} < M_u = 121320 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.1.3 Şehim Kontrolü

$$f_{\text{max}} = 1.50 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{L}{480} = \frac{800}{480} = 1.66 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.1.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

Kesme kuvvetinin sadece gövde tarafından taşındığı kabulüyle hesap yapılmıştır.

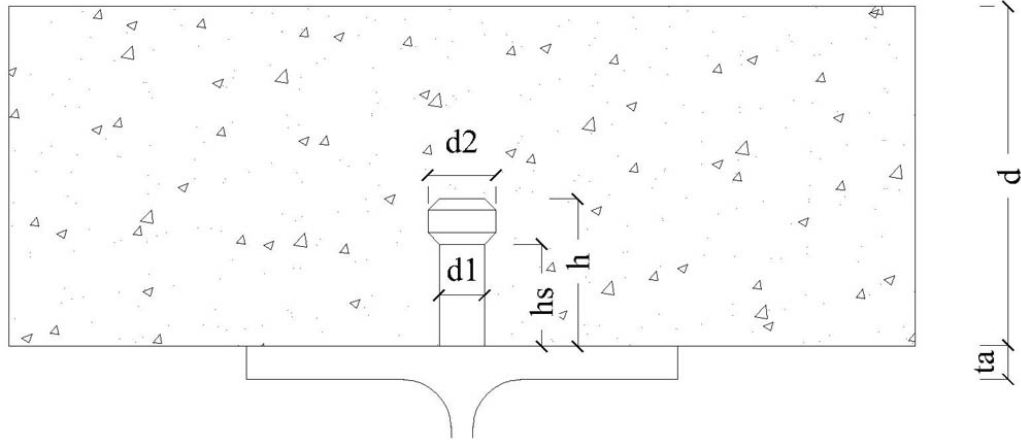
$$V = 337 \text{ kN}$$

$$F_g = 37.88 \times 0.94 = 35.6 \text{ cm}^2$$

Kompozit kesit için kesme kuvveti kapasitesi; $V_p = 0.52 \times F_g \times \sigma_a$ [22]

$$V_p = 0.52 \times 35.6 \times 36 = 666.5 \text{ kN} > V = 337 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.2.1.5 Kayma Elemanlarının Hesabı



Şekil 3.7: Kayma Elemanı Boyutları

Kayma elemanı boyutları aşağıda belirtilen sınırlara uymalıdır.

$$h_s \geq 5 \text{ cm}$$

$$d_1 \leq \begin{cases} 2,3 \text{ cm} \\ 2 \times t_a \end{cases} \quad (3.15)$$

$$d_2 \geq 1.5 \times d_1$$

Bir moment ekstremum noktası ile bir moment sıfır noktası arası olarak sınırlandırılacak bir kayma bölgesine konulması gerekli kayma bağlantı elemanı sayısı n_h , denklem (3.16) ile hesaplanır.

$$n_h = \frac{H}{\alpha_H \times H_{lu}} \quad (3.16)$$

H : Plak ile çelik arasındaki kayma kuvveti

α_H : Güvenlik katsayısı (genellikle 0.85 alınır)

Ele alınan kayma bölgesinde, plak ile çelik arasındaki kayma kuvveti, çelik profilin taşıyabileceği Z kuvveti ile beton tablanın taşıyabileceği D basınç kuvvetinden küçük olanına eşittir.

$$H = \left\{ \begin{array}{l} Z = \alpha_a \times \sigma_F \times F_a \\ D = \alpha_b \times \sigma_{br} \times b_{eff} \times d \end{array} \right\}_{min} \quad (3.17)$$

H_{lu} : Bir kayma elemanının yük taşıma kapasitesi

$$H_{lu} = 0.32 \times \alpha_{br} \times d_1 \sqrt{\sigma_{br} \times E_b} \leq 0.55 \times d_1^2 \times \sigma_{FH} \quad (3.18)$$

σ_{FH} : Kayma elemanının akma sınırı

$$\text{BS 35 Beton için; } E_b = 3320 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, \sigma_{br} = 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha_{br} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{d_1} = 3 \text{ için } 0.85 \\ \frac{h}{d_1} \geq 4.2 \text{ için } 1 \end{array} \right. \quad (3.19)$$

Kayma elemanları ara mesafeleri;

Enine doğrultuda $e_e \geq 4 \times d_1$

$$\text{Boyuna doğrultuda } e_b \left\{ \begin{array}{l} \geq 5 \times d_1 \\ \leq (3 \sim 4) \times d \leq 60 \text{ cm} \end{array} \right. \quad (3.20)$$

Kayma elemanı olarak akma sınırı $\sigma_{FH} = 35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, boyu $h = 6 \text{ cm}$, kalınlığı

$d_1 = 2 \text{ cm}$ olan kamalar seçilmiştir.

$$\frac{h}{d_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ için } \alpha = 0.85 \quad (3.19)$$

$$H_{lu} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 0.32 \times 0.85 \times 2^2 \sqrt{3320 \times 3.5} = 117 \text{ kN} \\ 0.55 \times 2^2 \times 35 = 77 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$H_{lu} = 77 \text{ kN} \quad (3.18)$$

$$Z = 3344 \text{ kN}$$

$$D = 0.74 \times 3.5 \times 200 \times 15 = 7770 \text{ kN}$$

$$Z = 3344 < D = 7770 \Rightarrow H = 3344 \text{ kN} \quad (3.17)$$

$$n_h = \frac{3344}{0.85 \times 77} = 51.1 \Rightarrow n_h = 52 \quad (3.16)$$

$$e_e \geq 4 \times 2 = 8 \text{ cm}$$

$$e_b \begin{cases} \geq 5 \times 2 = 10 \text{ cm} \\ \leq 3 \times 15 = 45 \text{ cm} \\ \leq 60 \text{ cm} \end{cases} \quad (3.20)$$

Kiriş başlangıcından açıklık ortasına kadar 52 adet kayma elemanı, enine doğrultuda 8 cm arayla, boyuna doğrultuda 11 cm arayla, çift sıra halinde çakılacaktır.

3.2.2 K2 Kirişi Hesabı

Tablo 3.3: IPE 400 Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$
23130	1156	16.55	1318	146.4	3.95
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$d (\text{cm})$
84.46	40	18	0.86	1.35	33.1

3.2.2.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{18}{2 \times 1.35} = 6.6 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{40}{0.86} = 46.5 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 77 \quad \text{Kesit kompakttır} \quad (3.14)$$

3.2.2.2 Gerilme Kontrolü

$$b_{ao} = 18 \text{ cm}, t_{bo} = 1.35 \text{ cm}, t_g = 0.86 \text{ cm}$$

$$L = 8 \text{ m}, L_x = 4 \text{ m}, d = 15 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 4 \text{ m} \\ \frac{8}{4} = 2 \text{ m} \\ 16 \times 0.15 + 0.18 = 2.58 \text{ m} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \text{ m}$$

$$n = 6.36 \quad (3.5b)$$

$$b^* = \frac{200}{2 \times 6.36} = 15.72 \quad (3.5a)$$

$$A_{\text{beton}} = 15 \times 15.72 = 235.8 \text{ cm}^2 \quad (3.8b)$$

$$A_k = 235.8 + 84.46 = 320.26 \text{ cm}^2 \quad (3.8a)$$

$$y_o = \frac{235.8 \times (40 + \frac{15}{2}) + 84.46 \times \frac{40}{2}}{320.26} = 40.25 \text{ cm} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = 40 + \frac{15}{2} - 40.25 = 7.25 \text{ cm} \quad (3.9c)$$

$$d_2 = 40.25 - \frac{40}{2} = 20.25 \text{ cm} \quad (3.9d)$$

$$I_k = \frac{15^3 \times 15.72}{12} + 235.8 \times 7.25^2 + 23130 + 84.46 \times 20.25^2 = 74573.2 \text{ cm}^4 \quad (3.9a)$$

$$Z = 0.94 \times 36 \times 84.46 = 2858 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{2858}{0.74 \times 3.5 \times 200} = 5.52 < d = 15 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$h_{\text{oa}} = 1.35 + \frac{1}{0.86} \left(\frac{84.46}{2} - 18 \times 1.35 \right) = 22.2 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$M_u = 2858 \times \left(22.2 + 15 - \frac{5.52}{2} \right) = 98429 \text{ kNcm} \quad (3.12)$$

$$M_{\text{max}} = 22946 \text{ kNcm} < M_u = 98429 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.2.3 Şehim Kontrolü

$$f_{\text{max}} = 0.50 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{L}{480} = \frac{800}{480} = 1.66 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.2.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 114 \text{ kN}$$

$$F_g = 33.1 \times 0.86 = 28.46 \text{ cm}^2$$

$$V_p = 0.52 \times 28.46 \times 36 = 532 \text{ kN} > V = 114 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.2.2.5 Kayma Elemanlarının Hesabı

Kayma elemanı olarak akma sınırı $\sigma_{FH} = 35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, boyu $h = 6 \text{ cm}$, kalınlığı $d_1 = 2 \text{ cm}$ olan kamalar seçilmiştir.

$$\frac{h}{d_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ için } \alpha = 0.85 \quad (3.19)$$

$$H_{lu} \leq \min \begin{cases} 0.32 \times 0.85 \times 2^2 \sqrt{3320 \times 3.5} = 117 \text{ kN} \\ 0.55 \times 2^2 \times 35 = 77 \text{ kN} \end{cases}$$

$$H_{lu} = 77 \text{ kN} \quad (3.18)$$

$$Z = 2858 \text{ kN}$$

$$D = 0.74 \times 3.5 \times 200 \times 15 = 7770 \text{ kN}$$

$$Z = 2858 < D = 7770 \Rightarrow H = 2858 \text{ kN} \quad (3.17)$$

$$n_h = \frac{2858}{0.85 \times 77} = 43.7 \Rightarrow n_h = 44 \quad (3.16)$$

$$e_e \geq 8 \text{ cm} \quad 45 \text{ cm} \geq e_b \geq 10 \text{ cm} \quad (3.20)$$

Kiriş başlangıcından açıklık ortasına kadar 44 adet kayma elemanı, enine doğrultuda 8 cm arayla, boyuna doğrultuda 12 cm arayla, çift sıra halinde çakılacaktır.

3.2.3 T1 Kirişi Hesabı

Tablo 3.4: IPE 360 Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$
16270	903.6	14.95	1043	122.8	3.79
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$d (\text{cm})$
72.73	36	17	0.8	1.27	29.86

3.2.3.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{17}{2 \times 1.27} = 6.7 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{36}{0.8} = 45 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 77 \quad \text{Kesit kompakttır} \quad (3.14)$$

3.2.3.2 Gerilme Kontrolü

$$b_{ao} = 17 \text{ cm}, t_{bo} = 1.27 \text{ cm}, t_g = 0.8 \text{ cm}$$

$$L = 8 \text{ m}, L_x = 4 \text{ m}, d = 15 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 4 \text{ m} \\ \frac{8}{4} = 2 \text{ m} \\ 16 \times 0.15 + 0.17 = 2.57 \text{ m} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \text{ m}$$

$$n = 6.36 \quad (3.5b)$$

$$b^* = \frac{200}{2 \times 6.36} = 15.72 \quad (3.5a)$$

$$A_{\text{beton}} = 15 \times 15.72 = 235.8 \text{ cm}^2 \quad (3.8b)$$

$$A_k = 235.8 + 72.73 = 308.53 \text{ cm}^2 \quad (3.8a)$$

$$y_o = \frac{235.8 \times (36 + \frac{15}{2}) + 72.73 \times \frac{36}{2}}{308.53} = 37.49 \text{ cm} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = 36 + \frac{15}{2} - 37.49 = 6.01 \text{ cm} \quad (3.9c)$$

$$d_2 = 37.49 - \frac{36}{2} = 19.49 \text{ cm} \quad (3.9d)$$

$$I_k = \frac{15^3 \times 15.72}{12} + 235.8 \times 6.01^2 + 16270 + 72.73 \times 19.49^2 = 56835.6 \text{ cm}^4 \quad (3.9a)$$

$$Z = 0.94 \times 36 \times 72.73 = 2461 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{2461}{0.74 \times 3.5 \times 200} = 4.75 \text{ cm} < d = 15 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$h_{oa} = 1.27 + \frac{1}{0.8} \left(\frac{72.73}{2} - 17 \times 1.27 \right) = 19.74 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$M_u = 2461 \times \left(19.74 + 15 - \frac{4.75}{2} \right) = 79650 \text{ kNcm} \quad (3.12)$$

$$M_{\max} = 17831 \text{ kNcm} < M_u = 79650 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.3.3 Sehim Kontrolü

$$f_{\max} = 0.65 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{L}{300} = \frac{800}{300} = 2.66 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.3.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 95 \text{ kN}$$

$$F_g = 29.86 \times 0.8 = 23.88 \text{ cm}^2$$

$$V_p = 0.52 \times 23.88 \times 36 = 447 \text{ kN} > V = 95 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.2.3.5 Kayma Elemanlarının Hesabı

Kayma elemanı olarak akma sınırı $\sigma_{FH} = 35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, boyu $h = 6 \text{ cm}$, kalınlığı

$d_1 = 2 \text{ cm}$ olan kamalar seçilmiştir.

$$\frac{h}{d_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ için } \alpha = 0.85 \quad (3.19)$$

$$H_{lu} = 77 \text{ kN} \quad (3.18)$$

$$Z = 2461 \text{ kN}$$

$$D = 0.74 \times 3.5 \times 200 \times 15 = 7770 \text{ kN}$$

$$Z = 2461 < D = 7770 \Rightarrow H = 2461 \text{ kN} \quad (3.17)$$

$$n_h = \frac{2461}{0.85 \times 77} = 37.6 \Rightarrow n_h = 38 \quad (3.16)$$

$$e_e \geq 8 \text{ cm} \quad 45 \text{ cm} \geq e_b \geq 10 \text{ cm} \quad (3.20)$$

Kiriş başlangıcından açıklık ortasına kadar 38 adet kayma elemanı, enine doğrultuda 8 cm arayla, boyuna doğrultuda 14 cm arayla, çift sıra halinde çakılacaktır.

3.2.4 T2 Kirişi Hesabı

Tablo 3.5: IPE 200 Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$
1943	194.3	8.26	142.4	28.47	2.24
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$d (\text{cm})$
28.48	20	10	0.56	0.85	15.9

3.2.4.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{10}{2 \times 0.85} = 5.9 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{20}{0.56} = 35.7 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 77 \quad \text{Kesit kompakttır} \quad (3.14)$$

3.2.4.2 Gerilme Kontrolü

$$b_{ao} = 10 \text{ cm}, t_{bo} = 0.85 \text{ cm}, t_g = 0.56 \text{ cm}$$

$$L = 8 \text{ m}, L_x = 4 \text{ m}, d = 15 \text{ cm}$$

$$b_{\text{eff}} = \min \begin{cases} 4 \text{ m} \\ \frac{8}{4} = 2 \text{ m} \\ 16 \times 0.15 + 0.1 = 2.5 \text{ m} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{\text{eff}} = 2 \text{ m}$$

$$n = 6.36 \quad (3.5b)$$

$$b^* = \frac{200}{2 \times 6.36} = 15.72 \quad (3.5a)$$

$$A_{\text{beton}} = 15 \times 15.72 = 235.8 \text{ cm}^2 \quad (3.8b)$$

$$A_k = 235.8 + 28.48 = 264.28 \text{ cm}^2 \quad (3.8a)$$

$$y_o = \frac{235.8 \times (20 + \frac{15}{2}) + 28.48 \times \frac{20}{2}}{264.28} = 25.61 \text{ cm} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = 20 + \frac{15}{2} - 25.61 = 1.89 \text{ cm} \quad (3.9c)$$

$$d_2 = 25.61 - \frac{20}{2} = 15.61 \text{ cm} \quad (3.9d)$$

$$I_k = \frac{15^3 \times 15.72}{12} + 235.8 \times 1.89^2 + 1943 + 28.48 \times 15.61^2 = 14146.3 \text{ cm}^4 \quad (3.9a)$$

$$Z = 0.94 \times 36 \times 28.48 = 963 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{963}{0.74 \times 3.5 \times 200} = 1.86 \text{ cm} < d = 15 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$h_{oa} = 0.85 + \frac{1}{0.56} \left(\frac{28.48}{2} - 10 \times 0.85 \right) = 11.1 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$M_u = 963 \times \left(11.1 + 15 - \frac{1.86}{2} \right) = 24238 \text{ kNcm} \quad (3.12)$$

$$M_{\text{max}} = 12213 \text{ kNcm} < M_u = 24238 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.4.3 Şehim Kontrolü

$$f_{\text{max}} = 0.48 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{L}{300} = \frac{800}{300} = 2.66 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.4.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 36 \text{ kN}$$

$$F_g = 15.9 \times 0.56 = 8.9 \text{ cm}^2$$

$$V_p = 0.52 \times 8.9 \times 36 = 166 \text{ kN} > V = 36 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.2.4.5 Kayma Elemanlarının Hesabı

Kayma elemanı olarak akma sınırı $\sigma_{FH} = 35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, boyu $h = 6 \text{ cm}$, kalınlığı $d_1 = 2 \text{ cm}$ olan kamalar seçilmiştir.

$$\frac{h}{d_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ için } \alpha = 0.85 \quad (3.19)$$

$$H_{lu} = 77 \text{ kN} \quad (3.18)$$

$$Z = 963 \text{ kN}$$

$$D = 0.74 \times 3.5 \times 200 \times 15 = 7770 \text{ kN}$$

$$Z = 963 < D = 7770 \Rightarrow H = 963 \text{ kN} \quad (3.17)$$

$$n_h = \frac{963}{0.85 \times 77} = 14.7 \Rightarrow n_h = 15 \quad (3.16)$$

$$e_e \geq 8 \text{ cm} \quad 45 \text{ cm} \geq e_b \geq 10 \text{ cm} \quad (3.20)$$

Kiriş başlangıcından açıklık ortasına kadar 15 adet kayma elemanı, boyuna doğrultuda 20 cm arayla, tek sıra halinde çakılacaktır.

3.2.5 T3 Kirişi Hesabı

Tablo 3.6: IPE 100 Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$
171	34.2	4.07	15.92	5.79	1.24
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$d (\text{cm})$
10.32	10	5.5	0.41	0.57	7.46

3.2.5.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{5.5}{2 \times 0.57} = 4.8 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{10}{0.41} = 24.4 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 77 \quad \text{Kesit kompakttır} \quad (3.14)$$

3.2.5.2 Gerilme Kontrolü

$$b_{ao} = 5.5 \text{ cm}, t_{bo} = 0.57 \text{ cm}, t_g = 0.41 \text{ cm}$$

$$L = 2.20 \text{ m}, L_x = 6 \text{ m}, d = 15 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = \min \begin{cases} 6 \text{ m} \\ \frac{2.2}{4} = 0.55 \text{ m} \\ 16 \times 0.15 + 0.055 = 2.45 \text{ m} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_{eff} = 0.55 \text{ m}$$

$$n = 6.36 \quad (3.5b)$$

$$b^* = \frac{200}{2 \times 6.36} = 15.72 \quad (3.5a)$$

$$A_{beton} = 15 \times 15.72 = 235.8 \text{ cm}^2 \quad (3.8b)$$

$$A_k = 235.8 + 10.32 = 246.12 \text{ cm}^2 \quad (3.8a)$$

$$y_o = \frac{235.8 \times (10 + \frac{15}{2}) + 10.32 \times \frac{10}{2}}{246.12} = 16.97 \text{ cm} \quad (3.9b)$$

$$d_1 = 10 + \frac{15}{2} - 16.97 = 0.53 \text{ cm} \quad (3.9c)$$

$$d_2 = 16.97 - \frac{10}{2} = 11.97 \text{ cm} \quad (3.9d)$$

$$I_k = \frac{15^3 \times 15.72}{12} + 235.8 \times 0.53^2 + 171 + 10.32 \times 11.97^2 = 6137 \text{ cm}^4 \quad (3.9a)$$

$$Z = 0.94 \times 36 \times 10.32 = 349 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$y = \frac{349}{0.74 \times 3.5 \times 55} = 2.45 \text{ cm} < d = 15 \text{ cm} \quad (3.10)$$

$$h_{oa} = 0.57 + \frac{1}{0.41} \left(\frac{10.32}{2} - 5.5 \times 0.57 \right) = 5.51 \text{ cm} \quad (3.11)$$

$$M_u = 349 \times \left(5.51 + 15 - \frac{2.45}{2} \right) = 6730 \text{ kNcm} \quad (3.12)$$

$$M_{\max} = 6390 \text{ kNcm} < M_u = 6730 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.5.3 Sehim Kontrolü

$$f_{\max} = 0.42 \text{ cm} < f_{\text{limit}} = \frac{L}{300} = \frac{150}{300} = 0.5 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

3.2.5.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 35 \text{ kN}$$

$$F_g = 7.46 \times 0.41 = 3.06 \text{ cm}^2$$

$$V_p = 0.52 \times 3.06 \times 36 = 57 \text{ kN} > V = 35 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.2.5.5 Kayma Elemanlarının Hesabı

Kayma elemanı olarak akma sınırı $\sigma_{FH} = 35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$, boyu $h = 6 \text{ cm}$, kalınlığı

$d_1 = 2 \text{ cm}$ olan kamalar seçilmiştir.

$$\frac{h}{d_1} = \frac{6}{2} = 3 \text{ için } \alpha = 0.85 \quad (3.19)$$

$$H_{lu} = 77 \text{ kN} \quad (3.18)$$

$$Z = 349 \text{ kN}$$

$$D = 0.74 \times 3.5 \times 200 \times 15 = 7770 \text{ kN}$$

$$Z = 349 < D = 7770 \Rightarrow H = 349 \text{ kN} \quad (3.17)$$

$$n_h = \frac{349}{0.85 \times 77} = 5.3 \Rightarrow n_h = 6 \quad (3.16)$$

$$e_c \geq 8 \text{ cm} \quad 45 \text{ cm} \geq e_b \geq 10 \text{ cm} \quad (3.20)$$

Kiriş başlangıcından açıklık ortasına kadar 6 adet kayma elemanı, boyuna doğrultuda 11 cm arayla, tek sıra halinde çakılacaktır.

3.3 Kolonların Boyutlandırılması

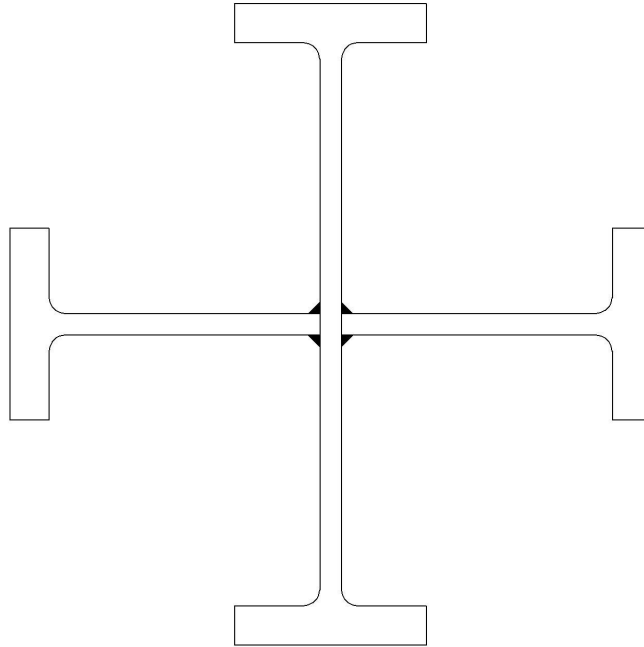
Yapıda bodrum katlarda ve ilk beş kattaki kolonlar 2×HE 1000×393, 5. normal kat ile 9. normal kat arasındaki kolonlar 2×HE 700B, 10. normal kat ile 28. normal kat arasındaki kolonlar 2×HE 600B profillerinden teşkil edilmiş olduğundan belirtilen katlar için ayrı ayrı hesap yapılacaktır.

Kesitlerin kompaktlık kontrolü yapılmalıdır. Bu kontrol TDY’ye göre denklem (3.13) ve (3.21) ile yapılır.

Eğilme ve basınç etkisindeki I Kesitleri için:

$$\frac{b}{t} \leq 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{çelik}}{\sigma_a}} \quad (3.13)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \begin{cases} \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \leq 0.1 \Rightarrow 3.2 \times \sqrt{\frac{E_{çelik}}{\sigma_a}} \times \left(1 - 3 \times \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \\ \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \geq 0.1 \Rightarrow 1.18 \times \sqrt{\frac{E_{çelik}}{\sigma_a}} \times \left(2 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| \right) \end{cases} \quad (3.21)$$



Şekil 3.8: Kullanılan Kolon Kesitleri

TS 648 uyarınca eğilmeye çalışan ve eksenel kuvvetin etkidiği elemanlarda gerilme tahkiki aşağıdaki gibi yapılacaktır. Eleman boyutlandırılırken $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$ koşulu sağlanırsa denklem (3.23), sağlanmazsa (3.22) denklemini kullanılır.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \times \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \times \sigma_{Bx}} + \frac{C_{my} \times \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \times \sigma_{By}} &\leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0.6 \times \sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} &\leq 1 \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \quad (3.23)$$

σ_{eb} : Yalnız eksenel basınç etkisi altında hesaplanan gerilme

σ_{bem} : Yalnız eksenel basınç kuvveti etkisinde uygulanacak emniyet gerilmesi

σ_{bx}, σ_{by} : Yalnız eğilme momentleri etkisinde hesaplanan eğilme-basınç başlığı gerilmeleri

σ_{Bx}, σ_{By} : Yalnız eğilme momentleri etkisinde uygulanacak eğilme-basınç başlığı için emniyet gerilmeleri

$\sigma'_{ex}, \sigma'_{ey}$: (x-x) ve (y-y) asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan ve Euler gerilmesinden türetilen gerilmeler

C_{mx}, C_{my} : M_x, M_y moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayılar

Herhangi bir enkesitte basınç başlığı olarak enkesitin başlık elemanıya, basınç bölgesindeki gövde yüksekliğinin (1/3)'nün çalıştığı varsayılır. [4]

Zayıf eksen etrafında eğilen elemanlar için izin verilen eğilme sınır gerilmesi $\sigma_B = 0.75 \times \sigma_a$ olacaktır. [4]

$$\sigma_{eb} = \frac{P}{F} \quad (3.24)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E}{\sigma_p}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E}{0.5 \times \sigma_a}} = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{\sigma_a}} \quad (3.25)$$

λ_p : Plastik narinlik sınırı

$$\lambda < \lambda_p \text{ ise } \sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \times \sigma_a}{n} \quad (3.26)$$

$$\lambda > \lambda_p \text{ ise } \sigma_{bem} = \frac{8290000}{\lambda^2} \quad (3.27)$$

Bu formüllerde σ_a çeliğin akma gerilmesi, n emniyet katsayısıdır.

$$\lambda < 20 \text{ ise } n = 1.67 \quad (3.28)$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \text{ ise } n = 1.5 + 1.2 \times \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \quad (3.29)$$

$$\lambda > \lambda_p \text{ ise } n = 2.5 \quad (3.30)$$

$$\sigma_b = \frac{M_x}{I_x} \times (d_1 + t_1) \quad (3.31)$$

$$\lambda_{yb} \leq \sqrt{\frac{35889 \times C_b}{\sigma_a}} \Rightarrow \sigma_{Bx1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \times \lambda_{yb}^2}{107666 \times C_b} \right] \quad (3.32)$$

$$\lambda_{yb} \geq \sqrt{\frac{35889 \times C_b}{\sigma_a}} \Rightarrow \sigma_{Bx1} = \frac{11963 \times C_b}{\lambda_{yb}^2} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{Bx1} \leq 0.6 \times \sigma_a \quad (3.34)$$

$$\sigma_{Bx2} = \frac{844000 \times C_b}{S_k \times \frac{d}{F_b}} \quad (3.35)$$

$$\sigma_{Bx} = \min (\sigma_{Bx1} ; \sigma_{Bx2}) \leq 0.6 \times \sigma_a \quad (3.36)$$

$$\sigma'_e = \frac{829 \times 10^4}{\lambda^2} \quad (3.37)$$

Elemanın zayıf yönde narinliğine göre (3.32) veya (3.33) denklemleri ile yalnız eğilme momentleri etkisi altında uygulanacak eğilme basınç başlığı emniyet gerilmeleri hesaplanır. Ayrıca bulunan bu emniyet gerilmesi (3.34) denklemiyle bulunan değerden küçük olmalıdır. Enkesitte basınç başlığı dolu kesit, dikdörtgene yakın formda ve alanı da çekme başlığından küçük değilse (3.35) denklemiyle emniyet gerilmesi sınırlandırılır. Denklemlerde bulunan C_b ve C_m değerleri Ek A' da verilen moment şekillerine göre belirlenmiştir. Eksenel basınç ve eğilme halinde eğilme emniyet gerilmeleri σ_{Bx} ve σ_{By} değerlerinin hesabında $C_b = 1$ alınacaktır. [4]

Kolon burkulma boyu katsayısının hesabında gerekli olan kolon A ve B uçları için etkin burkulma katsayısına yönelik G katsayısı $G = \frac{\sum I_c / S_c}{\sum I_g / S_g}$ formülüyle elde edilir. [4] (3.38)

I_c : Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momenti (cm⁴)

I_g : Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti (cm⁴)

S_c = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boyu (cm)

S_g = Göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boyu (cm)

Çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında, aşağıda verilen arttırılmış deprem etkileri de göz önüne alınacaktır. Arttırılmış deprem etkilerini veren yüklemeler $1.0 G + 1.0 Q \pm \Omega_0 E$ veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde $0.9 G \pm \Omega_0 E$ şeklinde tanımlanmıştır. Hesaplanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetlere uygulanacak Ω_0 Büyütme Katsayısı'nın değerleri, çelik taşıyıcı sistemlerin türlerine bağlı olarak, Tablo 3.7'de verilmiştir. [1]

Tablo 3.7: Deprem Büyütme Katsayısı

Taşıyıcı Sistem Türü	Ω_0
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	2.5
Süneklik düzeyi normal çerçeveler	2.0
Merkezi çelik çaprazlı perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal)	2.0
Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	2.5

Gerekli durumlarda kullanılmak üzere, yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri ve birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri aşağıda tanımlanmıştır.[1]

$$\text{Eğilme momenti kapasitesi : } M_p = W_p \times \sigma_a \quad (3.39)$$

$$\text{Kesme kuvveti kapasitesi : } V_p = 0.60 \times \sigma_a \times b \times t \quad (3.40)$$

$$\text{Eksenel basınç kapasitesi : } N_{bp} = 1.7 \times \sigma_{bem} \times A \quad (3.41)$$

$$\text{Eksenel çekme kapasitesi : } N_{cp} = \sigma_a \times A_{net} \quad (3.42)$$

3.3.1 Zemin – 4. Normal Kat Kolonları Hesabı

Tablo 3.8: 2×HE 1000×393 Kesit Özellikleri

$I_x(\text{cm}^4)$	$W_x(\text{cm}^3)$	$i_x(\text{cm})$	$I_y(\text{cm}^4)$	$W_y(\text{cm}^3)$	$i_y(\text{cm})$	$W_{px}(\text{cm}^3)$
811989	15984	28.7	857096	16476	29.5	20339
$A(\text{cm}^2)$	$h(\text{cm})$	$b(\text{cm})$	$t_w(\text{cm})$	$t_f(\text{cm})$	$h_i(\text{cm})$	$W_{py}(\text{cm}^3)$
985	101.6	30.3	2.44	4.39	92.8	20940

$$L = 600 \text{ cm}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri : (G + Q Yüklemesi)

$$N = 7580 \text{ kN} \quad M_{xx} = 16782 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 7529 \text{ kNcm} \quad V_{xx} = 52 \text{ kN}$$

3.3.1.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{30.3}{2 \times 4.39} = 3.45 < 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} = 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{10254}{36 \times 985} \right| = 0.29 > 0.1$$

Kesit kompakttır (3.21)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{101.6}{2.44} = 41.6 < 1.33 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (2.1 - 0.29) = 58$$

3.3.1.2 Gerilme Kontrolü

X Yönü İçin; Kolona bağlı kiriş kesiti Kompozit IPE 400; $I_x = 74573.2 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$\left. \begin{aligned} G_A &= \frac{\frac{811988}{600} + \frac{811988}{580}}{2 \times \frac{74573.2}{800}} = 14.7 \\ G_B &= \frac{\frac{811988}{600} + \frac{811988}{480}}{2 \times \frac{74573.2}{800}} = 16.3 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{TS 648'deki nomogramdan etkin} \\ &\text{burkulma katsayısı } \beta \text{ elde edilir.} \\ &\beta_{kx} = 3.5 \quad \lambda_x = 3.5 \times \frac{600}{28.71} \cong 73 \quad \omega_x = 1.76 \end{aligned}$$

Y Yönü İçin; Kolona bağlı kirişlerin kesiti Kompozit IPE 450; $I_x = 100825 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$\left. \begin{aligned} G_A &= \frac{\frac{857096}{600} + \frac{857096}{580}}{\frac{100825}{800}} = 23 \\ G_B &= \frac{\frac{857096}{600} + \frac{857096}{480}}{\frac{100825}{800}} = 25.5 \end{aligned} \right\} \beta_{ky} = 4.5 \quad \lambda_y = 4.5 \times \frac{600}{29.5} \cong 92 \quad \omega_y = 2.28$$

$$\sigma_{eb} = \frac{7580}{985} = 7.69 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.24)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 210000}{360}} = 107.3 \quad (3.25)$$

$$20 < \lambda = 92 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \times \left(\frac{92}{107.3} \right) - 0.2 \times \left(\frac{92}{107.3} \right)^3 = 2.4 \quad (3.29)$$

$$\lambda = 92 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow \sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{92}{107.3} \right)^2 \right] \times 36}{2.4} = 9.48 \quad (3.26)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{16782}{15984} = 1.05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{by} = \frac{7529}{16871} = 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.31)$$

$$C_{mx} = C_{my} = 0.85 \quad C_b = 1 \quad (\text{Ek A})$$

$$I_{yb} = 4.39 \times \frac{30.3^3}{12} = 10177 \text{ cm}^4, \quad i_{yb} = \sqrt{\frac{10177}{4.39 \times 30.3}} = 8.75 \text{ cm}, \quad \lambda_{yb} = \frac{600}{8.75} = 68.5$$

$$\lambda_{yb} = 68.5 < \sqrt{\frac{35889 \times 10^3 \times 1}{3600}} = 100$$

$$\sigma_{Bx} = \left(\frac{2}{3} - \frac{3600 \times 68.5^2}{107666 \times 10^3 \times 1} \right) \times 36 = 18.35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.6 \times 36 = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Bx} &= 18.35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{By} = 0.75 \times 36 = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{ex}' &= \frac{82900}{73^2} = 15.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{ey}' = \frac{82900}{92^2} = 9.79 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned} \quad (3.37)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{7.69}{9.48} = 0.81 > 0.15 \quad (3.22)$$

$$\frac{7.69}{9.48} + \frac{0.85 \times 1.05}{\left(1 - \frac{7.69}{15.5} \right) \times 18.35} + \frac{0.85 \times 0.45}{\left(1 - \frac{7.69}{9.79} \right) 27} = 0.81 + 0.09 + 0.07 = 0.97 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.1.3 Yanal Burkulma Kontrolü

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bx} &= 1.05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Bx} = 18.35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{by} &= 0.45 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{By} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned} \right\} \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur}$$

3.3.1.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 52 \text{ kN}$$

$$F_g = 92.8 \times 2.44 = 226.4 \text{ cm}^2$$

$$\tau = 1.7 \times \frac{52}{226.4} = 0.39 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.1.5 Arttırılmış Deprem Yükleri Dayanım Kontrolü

$$\Omega_0 = 2.5 \quad (\text{Tablo 3.8})$$

G + Q + 2.5 EX Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 18215 \text{ kN} \quad M_{xx} = 57234 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 16770 \text{ kNcm}$$

$$N_{bp} = 1.7 \times 12.71 \times 985 = 21282 \text{ kN} \quad (3.41)$$

$$M_{px} = 20339 \times 36 = 732204 \text{ kNcm} \quad M_{py} = 20940 \times 36 = 753840 \text{ kNcm} \quad (3.39)$$

$$\frac{18215}{21282} + \frac{57234}{732204} + \frac{16770}{753840} = 0.86 + 0.07 + 0.02 = 0.95 < 1 \quad (\text{uygun})$$

G + Q + 2.5 EY Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 14137 \text{ kN} \quad M_{xx} = 1495 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 64036 \text{ kNcm}$$

$$\frac{14137}{21282} + \frac{1495}{732204} + \frac{64036}{753840} = 0.66 + 0.002 + 0.08 = 0.75 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.1.6 Kolon Kesiti Kaynak Hesabı

İki profilin birleştirilmesiyle oluşturulan kolon kesiti, iki eleman gövdesine köşe kaynak çekilmesiyle oluşturulmuştur. Kaynakların kayma değeri statik momentiyile orantılı olacak şekilde hesaplanmıştır. Kaynaklara gelen normal kuvvet, elemanın aktardığı kuvvet kadardır. Bu değer parça alanının toplam alana oranıyla

bulunmuştur. Momentten kaynaklanan etki, kuvvet koluna bölünerek normal kuvvete dönüştürülmüştür.

$$0.3 \text{ cm} \leq a \leq 0.7 \times t_w = 0.7 \times 2.44 = 1.7 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak kalınlığı: $a = 1 \text{ cm}$

$$15 \times a = 15 \text{ cm} \leq L_k \leq 100 \times a = 100 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak boyu: $L_k = 90 \text{ cm}$

Seçilen elektrod tipi: E10016 – D2

$$S_b = b \times t_f \times \left(\frac{h - t_f}{2} \right) = 30.3 \times 4.39 \times \left(\frac{101.6 - 4.39}{2} \right) = 6465 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{Q \times S_b}{2 \times I_x \times a} = \frac{52 \times 6465}{2 \times 811989 \times 1} = 0.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

$$F_b = 30.3 \times 4.39 = 133 \text{ cm}^2$$

$$F_t = 985 \text{ cm}^2$$

P_k^n = Normal Kuvvetten Kaynaklanan Kuvvet

$$P_k^n = N \times \frac{F_b}{F_t} = 10254 \times \frac{133}{985} = 1385 \text{ kN}$$

P_k^m = Momentten Kaynaklanan Kuvvet

$$P_k^m = \frac{M}{h_i} = \frac{21582}{92.8} = 233 \text{ kN}$$

$$P_k = P_k^n + P_k^m = 1385 + 233 = 1618 \text{ kN}$$

$$F_k = (90 - 2 \times 1) \times 1 = 88 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{1618}{88} = 18.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{18.4^2 + 0.2^2} = 18.41 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.1.7 Bodrum Kat Kolonları Gerilme Kontrolü

$$L = 330 \text{ cm}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri : (G + Q Yüklemesi)

$$N = 14937 \text{ kN} \quad M_{xx} = 4521 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 3860 \text{ kNcm}$$

X Yönü İçin; Kompozit IPE 400 kesiti için; $I_x = 74573.2 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{\frac{811988}{330}}{2 \times \frac{74573.2}{800}} = 13.2 \left\{ \beta_{kx} = 3.4 \quad \lambda_x = 3.4 \times \frac{330}{28.71} \cong 39 \quad \omega_x = 1.24 \right.$$

Y Yönü İçin; Kompozit IPE 450 kesiti için; $I_x = 100825 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{\frac{811988}{330}}{\frac{100825}{800}} = 19.5 \left\{ \beta_{ky} = 4 \quad \lambda_y = 4 \times \frac{330}{29.5} \cong 45 \quad \omega_y = 1.31 \right.$$

$$\sigma_{eb} = \frac{14937}{985} = 15.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.24)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 210000}{360}} = 107.3 \quad (3.25)$$

$$20 < \lambda = 45 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \times \left(\frac{45}{107.3} \right) - 0.2 \times \left(\frac{45}{107.3} \right)^3 = 1.98 \quad (3.29)$$

$$\lambda = 45 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow \sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{45}{107.3} \right)^2 \right] \times 36}{1.98} = 16.58 \quad (3.26)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{4521}{15984} = 0.28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{by} = \frac{3860}{16871} = 0.23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.31)$$

$$C_{mx} = C_{my} = 0.85 \quad C_b = 1 \quad (\text{Ek A})$$

$$I_{yb} = 10177 \text{ cm}^4, \quad i_{yb} = 8.75 \text{ cm}, \quad \lambda_{yb} = \frac{330}{8.75} = 37.7$$

$$\lambda_{yb} = 37.7 < \sqrt{\frac{35889 \times 10^3 \times 1}{3600}} = 100$$

$$\sigma_{Bx} = \left(\frac{2}{3} - \frac{3600 \times 37.7^2}{107666 \times 10^3 \times 1} \right) \times 36 = 22.29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.6 \times 36 = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.32)$$

$$\sigma_{Bx} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{By} = 0.75 \times 36 = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ex}' = \frac{82900}{39^2} = 54.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{ey}' = \frac{82900}{45^2} = 40.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.37)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{15.16}{16.58} = 0.91 > 0.15 \quad (3.22)$$

$$\frac{15.16}{16.58} + \frac{0.85 \times 0.28}{\left(1 - \frac{15.16}{54.5}\right) \times 21.6} + \frac{0.85 \times 0.23}{\left(1 - \frac{15.16}{40.9}\right) \times 27} = 0.91 + 0.015 + 0.011 = 0.94 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.2 5. Normal – 9. Normal Kat Kolonları Hesabı

Tablo 3.9: 2×HE 700B Kesit Özellikleri

$I_x (\text{cm}^4)$	$W_x (\text{cm}^3)$	$i_x (\text{cm})$	$I_y (\text{cm}^4)$	$W_y (\text{cm}^3)$	$i_y (\text{cm})$	$W_{px} (\text{cm}^3)$
265222	7577	21.02	279263	7978	21.57	9618
$A (\text{cm}^2)$	$h (\text{cm})$	$b (\text{cm})$	$t_w (\text{cm})$	$t_f (\text{cm})$	$h_i (\text{cm})$	$W_{py} (\text{cm}^3)$
600.24	70	30	1.7	3.2	63.6	9872

$$L = 330 \text{ cm}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri: (G + 0.5W1 Yüklemesi)

$$N = 6988 \text{ kN} \quad M_{xx} = 1146 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 16603 \text{ kNcm} \quad V_{xx} = 109 \text{ kN}$$

3.3.2.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{30}{2 \times 3.2} = 4.68 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{8560}{36 \times 600.24} \right| = 0.39 > 0.1$$

Kesit kompakttır (3.21)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{70}{1.7} = 41.2 < 1.33 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (2.1 - 0.39) = 55$$

3.3.2.2 Gerilme Kontrolü

X Yönü İçin; Kolona bağlı kiriş kesiti Kompozit IPE 400; $I_x = 74573.2 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{2 \times \frac{265222}{330}}{2 \times \frac{74573.2}{800}} = 8.6 \left. \vphantom{\frac{2 \times \frac{265222}{330}}{2 \times \frac{74573.2}{800}}} \right\} \beta_{kx} = 2.8 \quad \lambda_x = 2.8 \times \frac{330}{21.02} \cong 44 \quad \omega_x = 1.3$$

Y Yönü İçin; Kolona bağlı kirişlerin kesiti Kompozit IPE 450; $I_x = 100825 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{2 \times \frac{279263}{330}}{\frac{100825}{800}} = 13.4 \left\{ \beta_{ky} = 3.3 \quad \lambda_y = 3.3 \times \frac{330}{21.57} \cong 51 \quad \omega_y = 1.39 \right.$$

$$\sigma_{eb} = \frac{6998}{600.24} = 11.64 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.24)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 210000}{360}} = 107.3 \quad (3.25)$$

$$20 < \lambda = 51 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \times \left(\frac{51}{107.3} \right) - 0.2 \times \left(\frac{51}{107.3} \right)^3 = 2.05 \quad (3.29)$$

$$\lambda = 51 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow \sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{51}{107.3} \right)^2 \right] \times 36}{2.05} = 15.57 \quad (3.26)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{1146}{7577} = 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{by} = \frac{16603}{7978} = 2.08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.31)$$

$$C_{mx} = C_{my} = 0.85 \quad C_b = 1 \quad (\text{Ek A})$$

$$I_{yb} = 3.2 \times \frac{30^3}{12} = 7200 \text{ cm}^4, \quad i_{yb} = \sqrt{\frac{7200}{3.2 \times 30}} = 8.66 \text{ cm}, \quad \lambda_{yb} = \frac{330}{8.66} = 38$$

$$\lambda_{yb} = 38 < \sqrt{\frac{35889 \times 10^3 \times 1}{3600}} = 100$$

$$\sigma_{Bx} = \left(\frac{2}{3} - \frac{3600 \times 38^2}{107666 \times 10^3 \times 1} \right) \times 36 = 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > 0.6 \times 36 = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.32)$$

$$\sigma_{Bx} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{By} = 0.75 \times 36 = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ex}' = \frac{82900}{44^2} = 42.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{ey}' = \frac{82900}{51^2} = 31.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.37)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{11.64}{15.57} = 0.75 > 0.15 \quad (3.22)$$

$$\frac{11.64}{15.57} + \frac{0.85 \times 0.15}{\left(1 - \frac{11.64}{42.8} \right) \times 21.6} + \frac{0.85 \times 2.08}{\left(1 - \frac{11.64}{31.8} \right) 27} = 0.75 + 0.008 + 0.1 = 0.858 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.2.3 Yanal Burkulma Kontrolü

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bx} &= 0.15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Bx} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{by} &= 2.08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{By} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned} \right\} \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur}$$

3.3.2.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 109 \text{ kN}$$

$$F_g = 63.6 \times 1.7 = 108.12 \text{ cm}^2$$

$$\tau = 1.7 \times \frac{109}{108.12} = 1.71 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.2.5 Arttırılmış Deprem Yükleri Dayanım Kontrolü

$$\Omega_0 = 2.5 \quad (\text{Tablo 3.8})$$

G + Q + 2.5 EX Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 15329 \text{ kN} \quad M_{xx} = 16042 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 15240 \text{ kNcm}$$

$$N_{bp} = 1.7 \times 17.19 \times 600.24 = 17540 \text{ kN} \quad (3.41)$$

$$M_{px} = 9618 \times 36 = 346248 \text{ kNcm} \quad M_{py} = 9872 \times 36 = 355392 \text{ kNcm} \quad (3.39)$$

$$\frac{15329}{17540} + \frac{16042}{346248} + \frac{15240}{355392} = 0.87 + 0.05 + 0.04 = 0.96 < 1 \quad (\text{uygun})$$

G + Q + 2.5 EY Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 11193 \text{ kN} \quad M_{xx} = 2556 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 29988 \text{ kNcm}$$

$$\frac{11193}{17540} + \frac{2556}{346248} + \frac{29988}{355392} = 0.64 + 0.007 + 0.08 = 0.73 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.2.6 Kolon Kesiti Kaynak Hesabı

$$0.3 \text{ cm} \leq a \leq 0.7 \times 1.7 = 1.19 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak kalınlığı: $a = 1 \text{ cm}$

$$15 \times a = 15 \text{ cm} \leq L_k \leq 100 \times a = 100 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak boyu: $L_k = 90 \text{ cm}$

Seçilen elektrod tipi: E10016 – D2

$$S_b = 30 \times 3.2 \times \left(\frac{70 - 3.2}{2} \right) = 3206 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{109 \times 3206}{2 \times 265222 \times 1} = 0.66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

$$F_b = 30 \times 3.2 = 96 \text{ cm}^2$$

$$F_t = 600.24 \text{ cm}^2$$

$$P_k^n = 7818 \times \frac{96}{600.24} = 1250 \text{ kN}$$

$$P_k^m = \frac{16603}{63.6} = 261 \text{ kN}$$

$$P_k = 1250 + 261 = 1511 \text{ kN}$$

$$F_k = (90 - 2 \times 1) \times 1 = 88 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{1511}{88} = 17.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{17.2^2 + 0.66^2} = 17.21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.3 10. Normal – 28. Normal Kat Kolonları Hesabı

Tablo 3.10: 2×HE 600B Kesit Özellikleri

$I_x(\text{cm}^4)$	$W_x(\text{cm}^3)$	$i_x(\text{cm})$	$I_y(\text{cm}^4)$	$W_y(\text{cm}^3)$	$i_y(\text{cm})$	$W_{px}(\text{cm}^3)$
180195	6006	18.48	190057	6335	18.98	7642
$A(\text{cm}^2)$	$h(\text{cm})$	$b(\text{cm})$	$t_w(\text{cm})$	$t_f(\text{cm})$	$h_i(\text{cm})$	$W_{py}(\text{cm}^3)$
527.4	60	30	1.55	3	54	7846

$$L = 330 \text{ cm}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri : (G + Q Yüklemesi)

$$N = 5290 \text{ kN} \quad M_{xx} = 1310 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 17252 \text{ kNcm} \quad V_{xx} = 120 \text{ kN}$$

3.3.3.1 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{30}{2 \times 3} = 5 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{7540}{36 \times 527.4} \right| = 0.39 > 0.1$$

Kesit kompakttır (3.21)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{60}{1.55} = 38.7 < 1.33 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (2.1 - 0.39) = 55$$

3.3.3.2 Gerilme Kontrolü

X Yönü İçin; Kirişlerin kesiti Kompozit IPE 400; $I_x = 74573.2 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{2 \times \frac{180195}{330}}{2 \times \frac{74573.2}{800}} = 5.86 \left. \vphantom{\frac{2 \times \frac{180195}{330}}{2 \times \frac{74573.2}{800}}} \right\} \beta_{kx} = 2.35 \quad \lambda_x = 2.35 \times \frac{330}{18.48} \cong 42 \quad \omega_x = 1.27$$

Y Yönü İçin; Kiriş kesiti Kompozit IPE 450; $I_x = 100825 \text{ cm}^4$ $L = 800 \text{ cm}$

$$G_A = G_B = \frac{2 \times \frac{190057}{330}}{\frac{100825}{800}} = 9 \left. \vphantom{\frac{2 \times \frac{190057}{330}}{\frac{100825}{800}}} \right\} \beta_{ky} = 2.9 \quad \lambda_y = 2.9 \times \frac{330}{18.98} \cong 51 \quad \omega_y = 1.39$$

$$\sigma_{eb} = \frac{5290}{527.4} = 10.03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.24)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 210000}{360}} = 107.3 \quad (3.25)$$

$$20 < \lambda = 51 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow n = 1.5 + 1.2 \times \left(\frac{51}{107.3} \right) - 0.2 \times \left(\frac{51}{107.3} \right)^3 = 2.05 \quad (3.29)$$

$$\lambda = 51 < \lambda_p = 107.3 \Rightarrow \sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \times \left(\frac{51}{107.3} \right)^2 \right] \times 36}{2.05} = 15.57 \quad (3.26)$$

$$\sigma_{bx} = \frac{1310}{6006} = 0.22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{by} = \frac{17252}{6335} = 2.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.31)$$

$$C_{mx} = C_{my} = 0.85 \quad C_b = 1 \quad (\text{Ek A})$$

$$I_{yb} = 2.8 \times \frac{30^3}{12} = 6300 \text{ cm}^4, \quad i_{yb} = \sqrt{\frac{6300}{2.8 \times 30}} = 8.66 \text{ cm}, \quad \lambda_{yb} = \frac{330}{8.66} = 38$$

$$\lambda_{yb} = 38 < \sqrt{\frac{35889 \times 10^3 \times 1}{3600}} = 100$$

$$\sigma_{Bx} = \left(\frac{2}{3} - \frac{3600 \times 38^2}{107666 \times 10^3 \times 1} \right) \times 36 = 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > 0.6 \times 36 = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.32)$$

$$\sigma_{Bx} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{By} = 0.75 \times 36 = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{ex}' = \frac{82900}{42^2} = 47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \sigma_{ey}' = \frac{82900}{51^2} = 31.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (3.37)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{10.03}{15.57} = 0.64 > 0.15 \quad (3.22)$$

$$\frac{10.03}{15.57} + \frac{0.85 \times 0.22}{\left(1 - \frac{10.03}{47} \right) \times 21.6} + \frac{0.85 \times 2.72}{\left(1 - \frac{10.03}{31.8} \right) 27} = 0.64 + 0.01 + 0.12 = 0.77 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.3.3 Yanal Burkulma Kontrolü

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bx} &= 0.22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Bx} = 21.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \\ \sigma_{by} &= 2.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{By} = 27 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \end{aligned} \right\} \text{Yanal burkulma tehlikesi yoktur}$$

3.3.3.4 Kesme Güvenliği Kontrolü

$$V = 120 \text{ kN}$$

$$F_g = 44.4 \times 1.45 = 64.38 \text{ cm}^2$$

$$\tau = 1.7 \times \frac{120}{64.38} = 3.17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.3.5 Arttırılmış Deprem Yükleri Dayanım Kontrolü

$$\Omega_0 = 2.5 \quad (\text{Tablo 3.8})$$

G + Q + 2.5 EX Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 10709 \text{ kN} \quad M_{xx} = 6957 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 23140 \text{ kNcm}$$

$$N_{bp} = 1.7 \times 17.42 \times 527.4 = 15618 \text{ kN} \quad (3.41)$$

$$M_{px} = 7642 \times 36 = 275112 \text{ kNcm} \quad M_{py} = 7846 \times 36 = 282456 \text{ kNcm} \quad (3.39)$$

$$\frac{10709}{15618} + \frac{6957}{275112} + \frac{23140}{282456} = 0.68 + 0.03 + 0.08 = 0.79 < 1 \quad (\text{uygun})$$

G + Q + 2.5 EY Yüklemesinden Oluşan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 8757 \text{ kN} \quad M_{xx} = 2183 \text{ kNcm} \quad M_{yy} = 38715 \text{ kNcm}$$

$$\frac{8757}{15618} + \frac{2183}{275112} + \frac{38715}{282456} = 0.56 + 0.008 + 0.14 = 0.71 < 1 \quad (\text{uygun})$$

3.3.3.6 Kolon Kesiti Kaynak Hesabı

$$0.3 \text{ cm} \leq a \leq 0.7 \times 1.7 = 1.19 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak kalınlığı: $a = 1 \text{ cm}$

$$15 \times a = 15 \text{ cm} \leq L_k \leq 100 \times a = 100 \text{ cm}$$

Seçilen kaynak boyu: $L_k = 90 \text{ cm}$

Seçilen elektrod tipi: E10016 – D2

$$S_b = 30 \times 3 \times \left(\frac{60 - 3}{2} \right) = 2565 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{120 \times 2565}{2 \times 180195 \times 1} = 0.85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

$$F_b = 30 \times 3 = 90 \text{ cm}^2$$

$$F_t = 527.4 \text{ cm}^2$$

$$P_k^n = 7540 \times \frac{90}{527.4} = 1287 \text{ kN}$$

$$P_k^m = \frac{19062}{54} = 353 \text{ kN}$$

$$P_k = 1287 + 353 = 1640 \text{ kN}$$

$$F_k = (90 - 2 \times 1) \times 1 = 88 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{1640}{88} = 18.63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

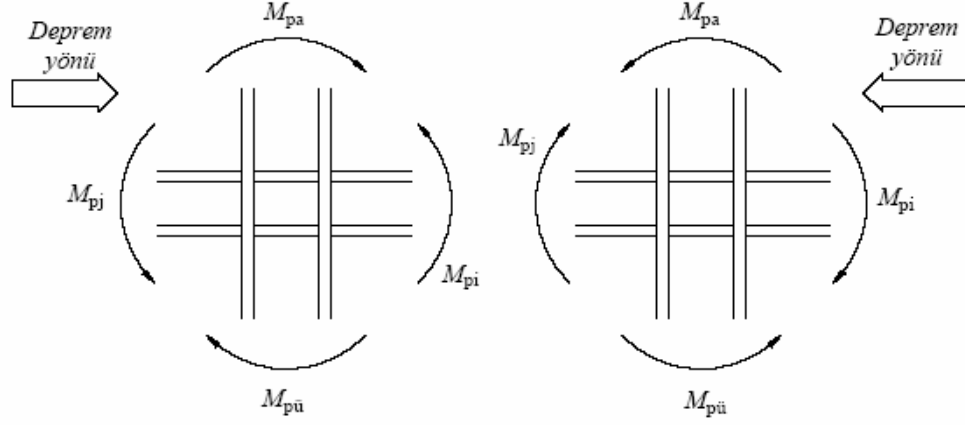
$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} = \sqrt{18.63^2 + 0.85^2} = 18.65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.3.3.7 Kolonların Kirişlerden Güçlü Olma Kontrolü

Çerçeve türü sistemlerde veya perdeli-çerçeve sistemlerin çerçevelerinde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 1.1Da katından daha büyük olacaktır.

$$(M_{pa} + M_{pü}) \geq 1.1 \times D_a \times (M_{pi} + M_{vi} + M_{pj} + M_{vj})$$

Bu denklemdeki M_{vi} ve M_{vj} terimleri, zayıflatılmış kiriş enkesitleri kullanılması veya kiriş uçlarında guseler oluşturulması halinde, kiriş uçlarındaki olası plastik mafsallardaki kesme kuvvetlerinden dolayı, kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momentlerini göstermektedir. Plastik momentlerin kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerinde oluşması halinde, bu terimler sıfır değerini almaktadır. [1]



Şekil 3.9: Kolonların Kirişlerden Güçlü Olma Koşulu

Tablo 3.11: D_a Arttırma Katsayıları

Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü	D_a
Fe 37 çeliğinden imal edilen hadde profilleri	1.2
Diğer yapı çeliklerinden imal edilen hadde profilleri	1.1
Tüm yapı çeliklerinden imal edilen levhalar	1.1

2×HE 600B kesitli kolonlar en küçük kesite sahip kolonlar, K1 kirişleri en büyük kesite sahip kirişler olduğundan kolonların kirişlerden güçlü olma kontrolü sadece bu kolon ve kirişler için yapılacaktır.

2×HE 600B kolon kesiti için; $W_{px} = 6425 \text{ cm}^3$

$$M_{pa} = M_{pu} = 6425 \times 36 = 231300 \text{ kNcm}$$

Kompozit IPE 450 kiriş kesiti için; $M_u = M_{pi} = M_{pj} = 121320 \text{ kNcm}$

$$D_a = 1.1 \quad (\text{Tablo 3.11})$$

$$2 \times 231300 = 462600 \text{ kNcm} > 1.1 \times 1.1 \times 2 \times 121320 = 293594 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.4 Bağlantı Kirişlerinin Boyutlandırılması

Bağlantı kirişleri çerçeve ana kirişleri gibi X doğrultusunda kompozit IPE 400, Y doğrultusunda ise kompozit IPE 450 profillerinden teşkil edilmiştir.

Bağlantı kirişinin boyu denklem (3.43)'de belirtilen sınırlarda kalacaktır. Ayrıca kolona birleşen bağlantı kirişi boyu denklem (3.44)'deki sınırdan kalacaktır. Bağ kirişinin V_d tasarım kesme kuvveti, denklem (3.45) ve (3.46)'daki koşulların her ikisini de sağlayacaktır. [4]

Bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda, kolon kenarında düzenlenen bağ kirişlerinde ise kirişin bir ucunda, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0.06'sından daha az olmayacaktır. Ayrıca, bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümü de, denklem (3.47)'deki aralıklarla yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Bu mesnetlerin gerekli dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0.01'inden daha az olmayacaktır. Ancak betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde bağ kirişinin ve çerçeve kirişinin yanal doğrultuda mesnetlenmesi zorunlu değildir. Bu sebeple bağ kirişinin iki ucunda sadece kiriş alt başlığı levhalarla tutulacaktır. [1]

$$1.0 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 5.0 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.43)$$

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.44)$$

$$V_d < 0.8 \times V_p \quad (3.45)$$

$$V_d < 2 \times \frac{M_p}{e} \quad (3.46)$$

$$0.45 \times b_f \times \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \quad (3.47)$$

3.4.1 X Doğrultusundaki Bağlantı Kirişlerinin Hesabı

IPE 400 için; $h = 40$ cm, $b = 18$ cm, $t_f = 1.35$ cm, $t_w = 0.86$ cm

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N_d = 92 \text{ kN} \quad M_d = 44111 \text{ kNcm} \quad V_d = 431 \text{ kN}$$

3.4.1.1 Kiriş Boyu Kontrolü

Kompozit IPE 400 kiriş kesiti için; $M_p = M_u = 98430 \text{ kNcm}$, $A = 320.2 \text{ cm}^2$

Kompozit kesit için kesme kuvveti kapasitesi; $V_p = 0.52 \times F_g \times \sigma_a$ [22]

$$V_p = 0.52 \times (37.3 \times 0.86) \times 36 = 600.5 \text{ kN}$$

$$e = 200 \text{ cm} \quad \frac{M_p}{V_p} = \frac{98430}{600.5} = 163.9 \text{ cm}$$

$$\frac{M_p}{V_p} = 163.9 \text{ cm} < e = 200 \text{ cm} < 5 \times \frac{M_p}{V_p} = 819.5 \text{ cm} \quad (3.43) \quad (\text{uygun})$$

Bağlantı kirişi kolona birleşmediğinden $e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p}$ kontrolüne gerek yoktur.

3.4.1.2 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{18}{2 \times 1.35} = 6.66 < 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} = 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{92}{36 \times 84.46} \right| = 0.03 < 0.1$$

Kesit kompakttır (3.21)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{40}{0.86} = 46.5 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (1 - 1.7 \times 0.03) = 73$$

3.4.1.3 Gerilme Kontrolü

$$\lambda = \frac{1 \times 200}{6.68} = 30 \Rightarrow \omega = 1.14$$

$$M_{rp} = 98430 - 36 \times \frac{1.14 \times 92}{320.2} = 98418 \text{ kNcm}$$

$$V_{rp} = \frac{2 \times M_{rp}}{e} = \frac{2 \times 98418}{200} = 984.18 \text{ kN}$$

$$V_{\text{kontrol eden dayanım}} = \min (V_p ; V_{rp}) = \min (600.5 ; 984.18) = 600.5 \text{ kN}$$

$$V_d = 431 \text{ kN} < 0.8 \times 600.5 = 480.4 \text{ kN} \quad (3.45) \text{ (uygun)}$$

$$V_d = 431 \text{ kN} < 2 \times \frac{98430}{200} = 984.3 \text{ kN} \quad (3.46) \text{ (uygun)}$$

$$\frac{N}{2 \times A_b} + \frac{M}{W_p} = \frac{92}{2 \times 18 \times 1.35} + \frac{44111}{98430/36} = 18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.4.1.4 Dönme Açısı Kontrolü

$\theta = \frac{\partial}{h} \times (1 + \frac{2 \times a}{e})$ denklemi ile bulunan bağ kirişi ile bu kirişin uzantısındaki kat kirişi arasında meydana gelen bağ kirişi dönme açısı; bağ kirişi uzunluğunun $1.6 M_p / V_p$ ' ye eşit veya daha küçük olması halinde 0.10 radyan, bağ kirişi uzunluğunun $2.6 M_p / V_p$ ' ye eşit veya daha büyük olması halinde 0.03 radyan değerlerini aşmayacaktır. Bağ kirişi uzunluğunun bu iki sınır değer arasında olması halinde doğrusal interpolasyon yapılacaktır. Burada ∂ , deprem yükleri altında oluşan kat yatay deplasmanı, a ise bağ kirişi uzantısındaki kat kirişlerinin boyudur. [4]

Zemin kat için; $\partial_{\max} = 0.81 \text{ cm}$, $h = 600 \text{ cm}$

$$\theta = \frac{0.81}{600} \times (1 + \frac{2 \times 300}{200}) = 0.0054 \text{ radyan}$$

$$e = 200 \text{ cm} < 1.6 \times \frac{M_p}{V_p} = 262.2 \text{ cm}$$

$$\theta_s = 0.1 \text{ radyan} > \theta = 0.0054 \text{ radyan} \quad (\text{uygun})$$

1. Normal kat için; $\partial_{\max} = 0.99 \text{ cm}$, $h = 580 \text{ cm}$

$$\theta = \frac{0.99}{580} \times (1 + \frac{2 \times 300}{200}) = 0.0068 \text{ radyan}$$

$$\theta_s = 0.1 \text{ radyan} > \theta = 0.0068 \text{ radyan} \quad (\text{uygun})$$

Üst katlarda daha büyük kat yatay deplasmanı bulunmadığından bu katları kontrole gerek yoktur.

3.4.1.5 Çerçeve Kirişinin Gerilme Kontrolü

Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümü, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1.1 Da katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır. Bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme, hesaplanan deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetlerin, bağ kirişinde kesit seçimi sonucunda hesaplanan M_p / M_d ve V_p / V_d Tasarım Büyütme Katsayıları (TBK)'nın büyüğü ile çarpımı suretiyle belirlenecektir. [4]

$$\left. \begin{array}{l} \frac{M_p}{M_d} = \frac{98430}{44111} = 2.23 \\ \frac{V_p}{V_d} = \frac{600.5}{431} = 1.39 \end{array} \right\} \text{TBK} = 2.23$$

Bilgisayar Programından Alınan Çerçeve Kirişindeki En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 63 \text{ kN} \quad M_{xx} = 22946 \text{ kNcm}$$

$$M_{p,kiriş} = 1.1 \times 1.1 \times 2.23 \times 22946 = 61915 \text{ kNcm}$$

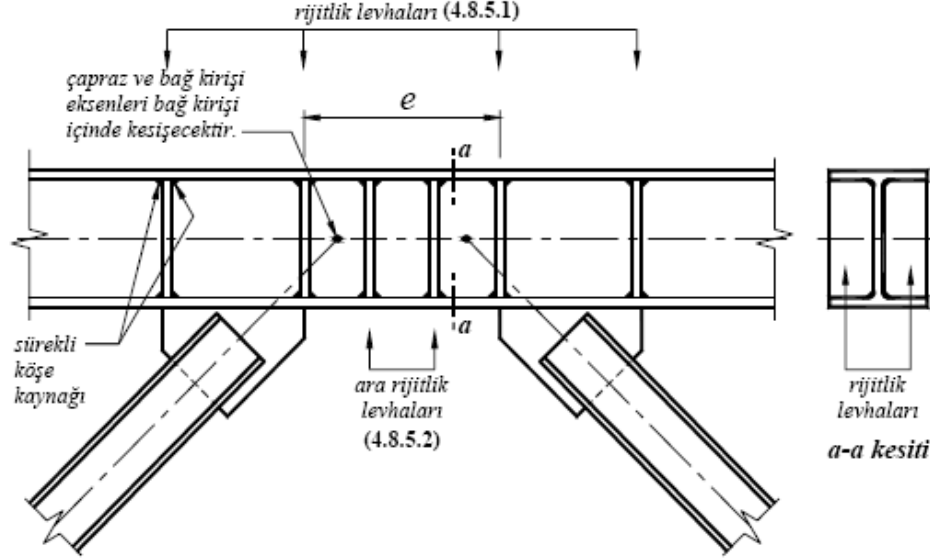
$$\lambda = \frac{1 \times 300}{6.68} = 45 \Rightarrow \omega = 1.31$$

$$M_{rp} = 98430 - 36 \times 1.31 \times \frac{1.1 \times 1.1 \times 2.23 \times 63}{320.2} = 98405 \text{ kNcm}$$

$$M_{rp} = 98405 \text{ kNcm} > M_{p,kiriş} = 61915 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.4.1.6 Gövde Rijitlik Levhası Hesabı

Çapraz elemanların bağ kirişine ve uzantılarına doğrudan yük aktardığı uçlarında rijitlik levhaları düzenlenecektir. Rijitlik levhaları, aksi belirtilmedikçe, bağ kirişi gövde levhasının her iki tarafına konulacak, gövde levhası yüksekliğinde ve yarım başlık levhası genişliğinde olacaktır (Şekil 3.11). Rijitlik levhalarının kalınlığı, gövde levhası kalınlığının 0.75'inden ve 10 mm'den az olmayacaktır. Rijitlik levhalarını bağ kirişinin gövdesine bağlayan sürekli köşe kaynakları, rijitlik levhasının enkesit alanı ile malzeme akma gerilmesinin çarpımından oluşan kuvvetleri aktaracak kapasitede olacaktır.[1]



Şekil 3.10: Rijitlik Levhaları Detayı

Bağlantı kirişi uçlarındaki rijitlik levhalarına ek olarak, aşağıda tanımlanan ara rijitlik levhaları konulacaktır:

(a) Boyu $1.6 M_p / V_p$ 'den daha kısa olan bağ kirişlerinde, ara rijitlik levhalarının ara uzaklıkları, bağ kirişi dönme açısının 0.10 radyan olması halinde $(30 t_w - d_b / 5)$ 'den, bağ kirişi dönme açısının 0.03 radyandan daha küçük olması halinde ise $(52 t_w - d_b / 5)$ 'den daha az olmayacaktır. Dönme açısının ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılacaktır.

(b) Boyu $2.6 M_p / V_p$ 'den büyük ve $5 M_p / V_p$ 'den küçük olan bağ kirişlerinde, bağ kirişi uçlarından $1.5b_{bf}$ uzaklıkta birer rijitlik levhaları konulacaktır.

(c) Boyu $1.6 M_p / V_p$ ve $2.6 M_p / V_p$ arasında olan bağ kirişlerinde, (a) ve (b)' de belirtilen ara rijitlik levhaları birlikte kullanılacaktır.

(d) Boyu $5 M_p / V_p$ 'den büyük olan bağ kirişlerinde ara rijitlik levhaları kullanılmayabilir.

$b = 8.5$ cm, $t = 1$ cm alınırsa;

$$2 \times 8.5 = 17 \text{ cm} > 18 - 2 \times 0.86 = 16.3 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t = 1 \text{ cm} > 0.75 \times 0.86 = 0.65 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t = 1 \text{ cm} \geq 1 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$e = 200 \text{ cm} < 1.6 \times \frac{M_p}{V_p} = 262.2 \text{ cm}$$

$$\theta = 0.0068 < 0.03 \text{ radyan} \Rightarrow a \leq 52 \times 0.86 - \frac{33.1}{5} = 38.1 \text{ cm}$$

$a = 33 \text{ cm}$ olacak şekilde toplam 6 adet $2 \times 10.85 - 370$ levha konulacaktır

Gövdedeki Kaynakların Kontrolü:

$$P_k = A_{st} \times \sigma_y$$

$$A_{st} = 8.5 \times 1 = 8.5 \text{ cm}^2$$

$$P_k = 8.5 \times 36 = 306 \text{ kN}$$

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1

$$a = 0.5 \text{ cm için; } A_k = 2 \times 0.5 \times (37 - 2 \times 0.5) = 36 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{306}{36} = 8.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

Başlıktaki Kaynakların Kontrolü:

$$P_k = \frac{8.5 \times 36}{4} = 76.5 \text{ kN}$$

$$a = 0.3 \text{ cm için; } A_k = 2 \times 0.3 \times (8.5 - 2 \times 0.3) = 4.74 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{76.5}{4.74} = 16.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.4.2 Y Doğrultusundaki Bağlantı Kirişlerinin Hesabı

IPE 450 için; $h = 45 \text{ cm}$, $b = 19 \text{ cm}$, $t_f = 1.46 \text{ cm}$, $t_w = 0.94 \text{ cm}$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N_d = 62 \text{ kN} \quad M_d = 58936 \text{ kNcm} \quad V_d = 492 \text{ kN}$$

3.4.2.1 Kiriş Boyu Kontrolü

Kompozit IPE 450 kiriş kesiti için; $M_p = M_u = 121340 \text{ kNcm}$, $A = 334.5 \text{ cm}^2$

$$V_p = 0.52 \times (37.88 \times 0.94) \times 36 = 666.5 \text{ kN}$$

$$e = 200 \text{ cm} \quad \frac{M_p}{V_p} = \frac{121340}{666.5} = 182 \text{ cm}$$

$$\frac{M_p}{V_p} = 182 \text{ cm} < e = 200 \text{ cm} < 5 \times \frac{M_p}{V_p} = 910 \text{ cm} \quad (3.40) \quad (\text{uygun})$$

3.4.2.2 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{19}{2 \times 1.46} = 6.5 < 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.22)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{62}{36 \times 98.82} \right| = 0.017 < 0.1$$

Kesit kompakttır (3.24)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{45}{0.94} = 47.8 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (1 - 1.7 \times 0.017) = 75$$

3.4.2.3 Gerilme Kontrolü

$$\lambda = \frac{1 \times 200}{7.53} = 27 \Rightarrow \omega = 1.11$$

$$M_{rp} = 121340 - 36 \times \frac{1.11 \times 62}{334.5} = 121332 \text{ kNcm}$$

$$V_{rp} = \frac{2 \times M_{rp}}{e} = \frac{2 \times 121332}{200} = 1213.3 \text{ kN}$$

$$V_{\text{kontrol eden dayanım}} = \min (V_p ; V_{rp}) = \min (666.5 ; 1213.3) = 666.5 \text{ kN}$$

$$V_d = 492 \text{ kN} < 0.8 \times 666.5 = 533.2 \text{ kN} \quad (3.45) \quad (\text{uygun})$$

$$V_d = 492 \text{ kN} < 2 \times \frac{121340}{200} = 1213.4 \text{ kN} \quad (3.46) \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{N}{2 \times A_b} + \frac{M}{W_p} = \frac{62}{2 \times 19 \times 1.46} + \frac{58936}{121340/36} = 18.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.4.2.4 Dönme Açısı Kontrolü

Zemin kat için; $\partial_{\max} = 0.93 \text{ cm}$, $h = 600 \text{ cm}$

$$\theta = \frac{0.93}{600} \times \left(1 + \frac{2 \times 300}{200}\right) = 0.0062 \text{ radyan}$$

$$e = 200 \text{ cm} < 1.6 \times \frac{M_p}{V_p} = 291.2 \text{ cm}$$

$$\theta_s = 0.1 \text{ radyan} > \theta = 0.0062 \text{ radyan} \quad (\text{uygun})$$

1. Normal kat için; $\partial_{\max} = 1.05 \text{ cm}$, $h = 580 \text{ cm}$

$$\theta = \frac{1.05}{580} \times \left(1 + \frac{2 \times 300}{200}\right) = 0.0072 \text{ radyan}$$

$$\theta_s = 0.1 \text{ radyan} > \theta = 0.0072 \text{ radyan} \quad (\text{uygun})$$

Üst katlarda daha büyük kat yatay deplasmanı bulunmadığından bu katları kontrole gerek yoktur.

3.4.2.5 Çerçeve Kirişinin Gerilme Kontrolü

$$\left. \begin{array}{l} \frac{M_p}{M_d} = \frac{121340}{58936} = 2.06 \\ \frac{V_p}{V_d} = \frac{666.5}{492} = 1.35 \end{array} \right\} \text{TBK} = 2.06$$

Bilgisayar Programından Alınan Çerçeve Kirişindeki En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N = 103 \text{ kN} \quad M_{xx} = 44368 \text{ kNcm}$$

$$M_{p,\text{kiriş}} = 1.1 \times 1.1 \times 2.06 \times 44368 = 110591 \text{ kNcm}$$

$$\lambda = \frac{1 \times 300}{7.53} = 40 \Rightarrow \omega = 1.25$$

$$M_{rp} = 121340 - 36 \times 1.25 \times \frac{1.1 \times 1.1 \times 2.06 \times 103}{334.5} = 121305 \text{ kNcm}$$

$$M_{rp} = 121305 \text{ kNcm} > M_{p,\text{kiriş}} = 110591 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

3.4.2.6 Gövde Rijitlik Levhası Hesabı

$b = 9 \text{ cm}$, $t = 1 \text{ cm}$ alınırsa;

$$2 \times 9 = 18 \text{ cm} > 19 - 2 \times 0.94 = 17.1 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t = 1 \text{ cm} > 0.75 \times 0.94 = 0.7 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$t = 1 \text{ cm} \geq 1 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

$$e = 200 \text{ cm} < 1.6 \times \frac{M_p}{V_p} = 291.2 \text{ cm}$$

$$\theta = 0.0062 < 0.03 \text{ radyan} \Rightarrow a \leq 52 \times 0.94 - \frac{37.88}{5} = 41.3 \text{ cm}$$

$a = 33 \text{ cm}$ olacak şekilde toplam 6 adet $2 \times 10.90 - 420$ levha konulacaktır

Gövdedeki Kaynakların Kontrolü:

$$P_k = A_{st} \times \sigma_y$$

$$A_{st} = 9 \times 1 = 9 \text{ cm}^2$$

$$P_k = 9 \times 36 = 324 \text{ kN}$$

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1

$$a = 0.5 \text{ cm için}; A_k = 2 \times 0.5 \times (42 - 2 \times 0.5) = 41 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{324}{41} = 7.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

Başlıktaki Kaynakların Kontrolü:

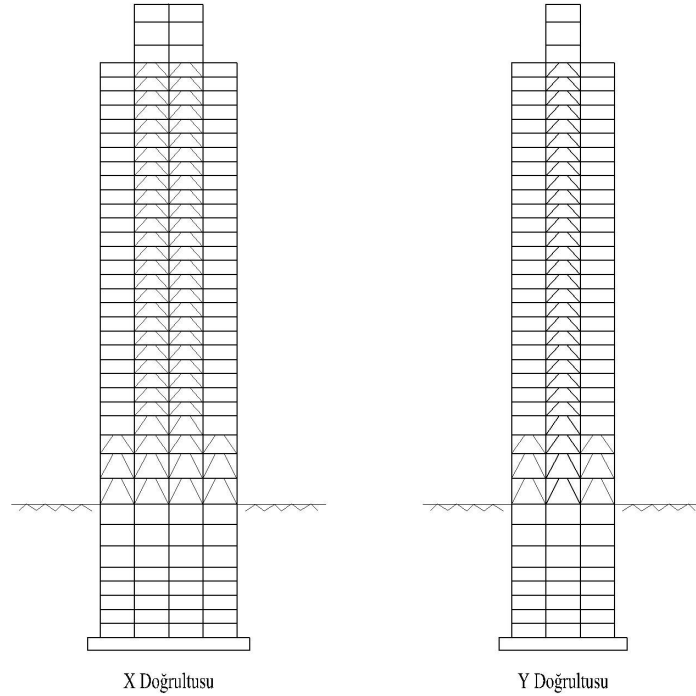
$$P_k = \frac{9 \times 36}{4} = 81 \text{ kN}$$

$$a = 0.3 \text{ cm iin}; A_k = 2 \times 0.3 \times (9 - 2 \times 0.3) = 5.04 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{81}{5.04} = 16.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

3.5 Çaprazların Boyutlandırılması

X ve Y doğrultusunda çaprazlar HD 260×172 profillerinden teşkil edilmişlerdir.



Şekil 3.11: Çapraz Yerleşimleri

Çaprazların narinlik oranı $4.23 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}}$ sınır değerini aşmayacaktır. [4] (3.48)

3.5.1 X Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı

Tablo 3.12: HD 260×172 Kesit Özellikleri

$I_x(\text{cm}^4)$	$W_x(\text{cm}^3)$	$i_x(\text{cm})$	$I_y(\text{cm}^4)$	$W_y(\text{cm}^3)$	$i_y(\text{cm})$	$W_{px}(\text{cm}^3)$
31310	2159	11.94	10450	779.7	6.90	2524
$A(\text{cm}^2)$	$h(\text{cm})$	$b(\text{cm})$	$t_w(\text{cm})$	$t_f(\text{cm})$	$h_i(\text{cm})$	$W_{py}(\text{cm}^3)$
219.6	29	26.8	1.8	3.25	22.5	1192

$$L = 5.32 \text{ m}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesiri : $N_d = 713 \text{ kN}$

3.5.1.1 Narinlik Kontrolü

$$\lambda = \frac{532}{6.9} = 77 < 4.23 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 102 \quad (3.48) \text{ (uygun)}$$

3.5.1.2 Enkesit Kontrolü

$$\frac{b}{t} = \frac{26.8}{2 \times 3.25} = 4.12 < 0.3 \times \sqrt{\frac{E_{\text{çelik}}}{\sigma_a}} = 0.3 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 7.25 \quad (3.13)$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a \times A} \right| = \left| \frac{713}{36 \times 219.6} \right| = 0.09 < 0.1$$

Kesit kompakttır (3.21)

$$\frac{h}{t_w} = \frac{29}{1.8} = 16 < 3.2 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} \times (1 - 1.7 \times 0.09) = 65$$

3.5.1.3 Gerilme Kontrolü

$$\lambda = 77 \Rightarrow \omega = 1.85$$

$$N_{kr} = \frac{219.6 \times 36}{1.85} = 4273 \text{ kN}$$

$$N_{\checkmark} = 1.25 \times 1.1 \times 2.23 \times 713 = 2186 \text{ kN} < N_{kr} = 4273 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.5.2 Y Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı

Y doğrultusunda, X doğrultusunda olduğu gibi HD 260×172 profili kullanıldığından narinlik ve enkesit kontrolüne gerek yoktur, sadece gerilme kontrolü yapılması yeterlidir.

3.5.2.1 Gerilme Kontrolü

$$L = 5.32 \text{ m}$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesiri : $N_d = 1085 \text{ kN}$

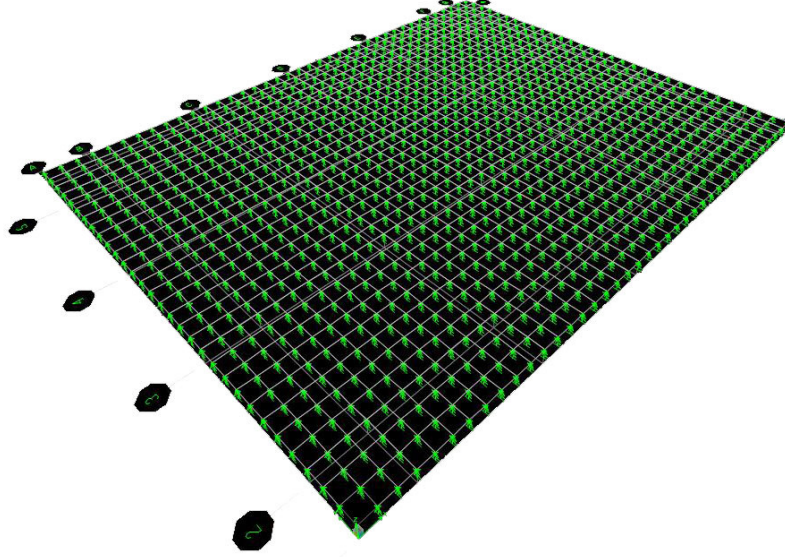
$$\lambda = 77 \Rightarrow \omega = 1.85$$

$$N_{kr} = \frac{219.6 \times 36}{1.85} = 4273 \text{ kN}$$

$$N_{\checkmark} = 1.25 \times 1.1 \times 2.06 \times 1085 = 3073 \text{ kN} < N_{kr} = 4273 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

3.6 Radye Temelin Boyutlandırılması

Yapı temeli radye temel olarak tasarlanmış ve temel yüksekliği 2 m seçilmiştir. Betonarme hesabı için TS500 dikkate alınmıştır. Temel Etabs v8.11 programı ile modellenmiş, en büyük zemin gerilmesinin zemin emniyet gerilmesini aşmamasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.12: Radye Temel Modeli

Etabs bilgisayar programında şekil 3.14’de görüldüğü gibi temel, bir döşeme gibi tanımlanmış ve 1 m × 1 m boyutlarında sonlu eleman parçalarına bölünmüştür. Temel basma payları dört cephe için de 3 m alınmış ve toplamda 38 m × 30 m ‘lik bir temel sistemi oluşturulmuştur. Sonlu eleman parçalarının birleştiği düğüm noktalarına yaylar tanımlanmış ve bu yayların çökmeye karşı yay sabiti değerleri olarak düşey yatak katsayısı ile ilgili sonlu elemanın etkili yük alanının çarpılmasıyla bulunan değerler girilmiştir. Zemin düşey yatak katsayısı $k_v = 500000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$, BS 35

beton için $E = 33000000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ alınmıştır.

$$\sigma_z = k_v \times U_{\max} \quad (3.49)$$

$$\sigma_z \leq f_{zn} \quad (3.50)$$

$$f_{zn} = f_{zu} - 18 \times H \quad (3.51)$$

$$f_{zu} = 1.5 \times \sigma_{zem} \quad (3.52)$$

σ_z : Zeminde oluşan en büyük gerilme

k_v : Zemin düşey yatak katsayısı

U_{max} : Zeminde oluşan en büyük çökme

Zımbalama olayının ortaya çıkmaması ve bu bölgede güvenli olarak kuvvet geçişinin oluşması için kesme kuvveti kapasitesinin iletilmesi gereken kuvvetten daha büyük olması gerekir. [2]

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (3.53)$$

Zımbalama dayanımı, zımbalama yüzeyi alanının beton çekme dayanımı ile çarpılmasından bulunmuştur.

$$V_{pr} = \gamma \times f_{ctd} \times u_p \times d \quad (3.54)$$

V_{pr} : Zımbalama dayanımı

V_{pd} : Tasarım zımbalama kuvveti

γ : Eğilme etkisini yansıtan katsayı

f_{ctd} : Beton hesap çekme dayanımı

U_p : Zımbalama çevresi

d : Temel faydalı yüksekliği

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \times \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_x + b_y}}} \quad (\text{Dikdörtgen yük alanları için}) \quad (3.55)$$

e : Kolonun eğilme düzlemindeki dışmerkezliği

b : Zımbalama çevresinin boyutları

$$e = 0.4 \times \frac{M_d}{N_d} \quad (3.56)$$

$$b = b_t + d \quad (3.57)$$

$$V_{pd} = N_d - \sigma_z \times A_p \quad (3.58)$$

A_p : Zımbalama alanı

3.6.1 Zemin Emniyet Gerilmesi Kontrolü

Radye temelde oluşan en büyük çökme program sonuçlarından $U_{\max} = 0.001384$ m olarak bulunmuştur. Bilgisayar programından alınan, kolonlardan temel aktarılan en büyük kesit tesirleri $N_d = 27555$ kN, $M_d = 1459$ kNm'dir. Zemin emniyet gerilmesi

$\sigma_{zem} = 500 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ 'dir. Buna göre;

$$\sigma_z = 500000 \times 0,001384 = 692 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.49)$$

$$f_{zu} = 1.5 \times 500 = 750 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.52)$$

$$f_{zn} = 750 - 18 \times 2 = 714 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.51)$$

$$\sigma_z = 692 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < f_{zn} = 714 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.50) \text{ (uygun)}$$

3.6.2 Zımbalama Kontrolü

$$e = 0.4 \times \frac{1459}{27555} = 0.021 \text{ m} \quad (3.56)$$

Kolonlar $2 \times \text{HE } 1000 \times 393$ olduğundan $h = 1.016$ m'dir;

$$e_{\min} = 0.0015 + 0.03 \times 1.016 = 0.032 \text{ m} > e = 0.021 \text{ m}$$

$$e = 0.032 \text{ m}$$

Paspayı 5 cm kabul edilirse; $d = 2 - 0.05 = 1.95$ m

Kolon altındaki taban levhaları $1.9 \text{ m} \times 1.9 \text{ m}$ boyutlarında seçilmiştir;

$$b_x = b_y = 1.9 + 1.95 = 3.85 \text{ m} \quad (3.57)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \times \frac{0.032 + 0.032}{\sqrt{3.85 \times 3.85}}} = 0.975 \quad (3.55)$$

$$\text{BS 35 için } f_{ctd} = 1400 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$U_p = 2 \times (3.85 + 3.85) = 15.4 \text{ m}$$

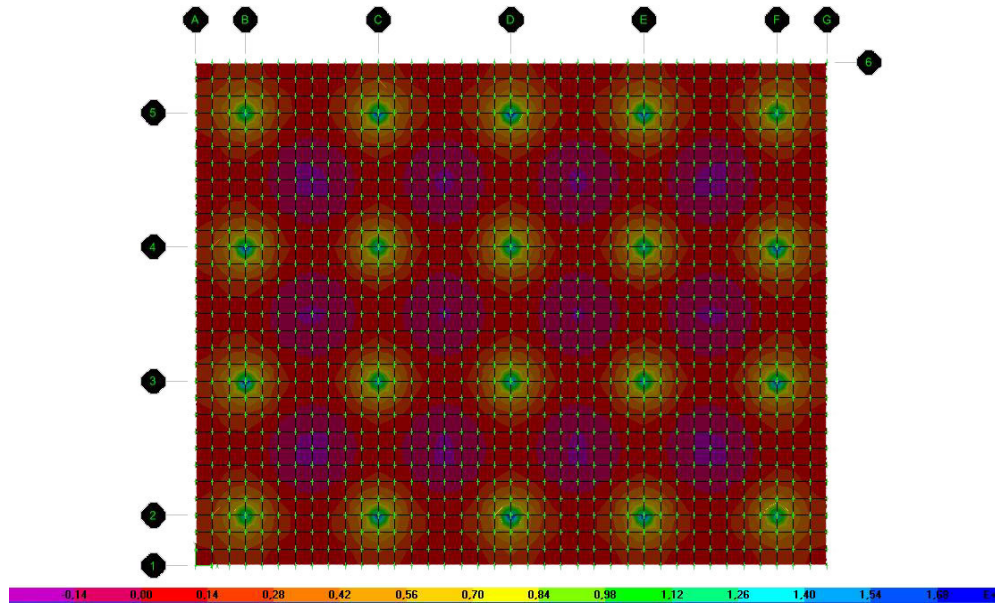
$$V_{pr} = 0.975 \times 1400 \times 15.4 \times 1.95 = 40991 \text{ kN} \quad (3.54)$$

$$A_p = 3.85 \times 3.85 = 14.82 \text{ m}^2$$

$$V_{pd} = 27555 - 692 \times 14.82 = 17299 \text{ kN} \quad (3.58)$$

$$V_{pr} = 40991 > V_{pd} = 17299 \text{ kN} \quad (3.53) \text{ (uygun)}$$

3.6.3 Donatı Hesabı



Şekil 3.13: Radye Temeldeki Moment Dağılımı

Tablo 3.13: Radye Temelde Oluşan En Büyük Moment Değerleri (kNm)

Aks	Kenar Mesnet Momenti	Kenar Açıklık Momenti	Orta Mesnet Momenti	Orta Açıklık Momenti
2 – 5	5000	550	4700	550
3 – 4	4550	350	5000	410
B – F	5000	490	4500	480
C – E	4600	330	4800	400
D	4700	410	5000	440

$$A_{smin} = 0.002 \times b_w \times d \quad (3.59)$$

$$A_{smin} = 0.002 \times 100 \times 195 = 39 \text{ cm}^2$$

$$K = \frac{b_w \times (d_t^2)}{M} \quad (3.60)$$

$$K > K_l \quad (3.61)$$

BS35 ve BÇ III için; $K_l = 215$ [19] – (Abaklar, Çizelge B-1)

$$A_s = \frac{M}{f_{yd} \times j \times d} \quad (3.62)$$

$$f_{yd} = 36.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$j = 0.86$$

$$K_{max} = \frac{1 \times 1.95^2}{5000} \times 10^6 = 760 \frac{\text{mm}^2}{\text{kN}} > K_l = 215 \quad (3.61) \text{ (uygun)}$$

Tablo 3.14: Radye Temelde Hesaplanan Donatı Miktarları (cm²)

Aks	Kenar Mesnet İçin	Kenar Açıklık İçin	Orta Mesnet İçin	Orta Açıklık İçin
2 – 5	81.70	8.98	76.80	8.98
3 – 4	74.30	5.70	81.70	6.70
B – F	81.70	8.00	73.50	7.80
C – E	75.15	5.40	78.40	6.50
D	76.80	6.70	81.70	7.20

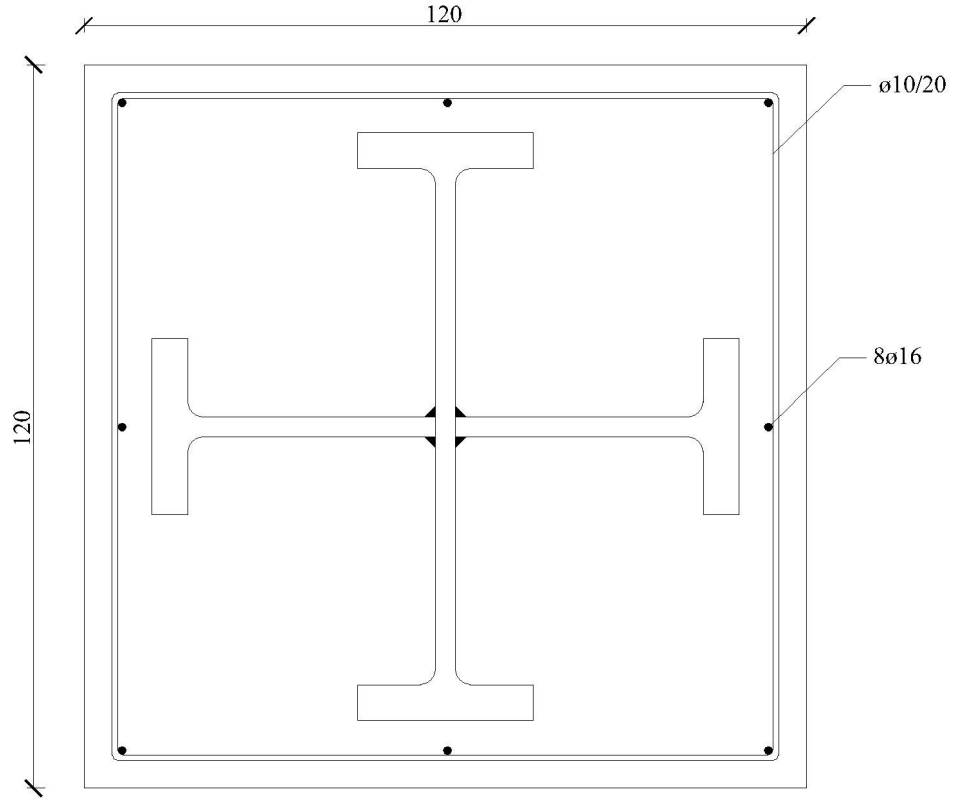
Tablo 3.14'den görüldüğü gibi açıklık kısımlarında hesaplanan donatı miktarları minimum donatı miktarından azdır. Bu sebeple açıklık kısımlarına minimum donatı olarak Ø24/12 ($A_s = 40.71 \text{ cm}^2$) konulacaktır. Mesnet kısımlarında ise bulunan tüm değerleri karşılayacak şekilde Ø34/12 ($A_s = 81.71 \text{ cm}^2$) uygun görülmüştür. Ayrıca Ø22/80 düşey sehpa donatısı ve temel orta bölgesine Ø12/40 konstrüktif donatı konulacaktır.

3.7 Bodrum Kat Kompozit Kolonlarının Boyutlandırılması

Bodrum katta dış sınırdaki bulunan kolonlar, betonarme bodrum perdelerine denk geldiklerinden, temele kadar devam edebilmeleri ve zemindeki hava ve su etkilerinden daha iyi korunabilmeleri için kompozit olarak tasarlanmıştır. Buradaki hesaplar [15] no'lu kaynaktan yararlanılarak yapılmıştır.

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri :

$$N_{\max} = 2320 \text{ kN}, M_{\max} = 6973 \text{ kNcm}, V_{\max} = 32.5 \text{ kN}$$



Şekil 3.14: Kompozit Kolon Kesiti

$$N_u = A_s \times \sigma_a + A_d \times f_{yd} + 0.85 \times A_c \times f_{cd}$$

$$2 \times \text{HE } 1000 \times 393 \text{ için; } A_s = 985 \text{ cm}^2, \sigma_a = 36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}, W_x = 15984 \text{ cm}^3, d = 86.8 \text{ cm}$$

$$t_w = 2.44 \text{ cm}$$

$$8 \text{ Ø16 için; } A_d = 8 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} = 16 \text{ cm}^2, f_{yd} = 36.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{BS 35 için; } A_c = 120 \times 120 - 985 - 16 = 13399 \text{ cm}^2, f_{cd} = 2.33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 985 \times 36 + 16 \times 36.5 + 0.85 \times 13399 \times 2.33 = 62580 \text{ kN}$$

$$M_{uo} = W_s \times \sigma_a + A_d \times f_{yd} \times \left(\frac{h_2 - 2 \times c_r}{3} \right) + A_{sw} \times \sigma_a \times \left(\frac{h_2}{2} - \frac{A_{sw} \times \sigma_a}{1.7 \times f_{cd} \times h_1} \right)$$

h_2, h_1 : Kolon boyutları

c_r : Kolon kenarından ilk donatıya kadar olan mesafe

$$h_2 = h_1 = 120 \text{ cm}$$

$$c_r = 5 \text{ cm}$$

$$A_{sw} = d \times t_w = 86.8 \times 2.44 = 211.8 \text{ cm}^2$$

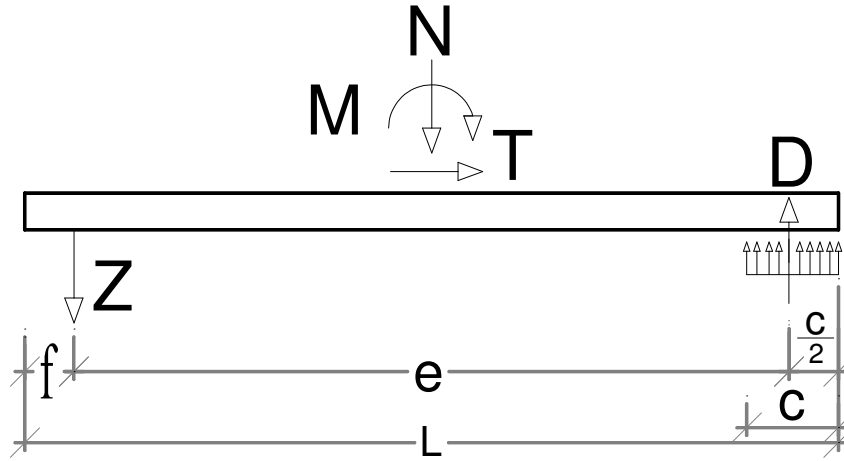
$$M_{uo} = 15984 \times 36 + 16 \times 36.5 \times \left(\frac{120 - 2 \times 5}{3} \right) + 211.8 \times 36 \times \left(\frac{120}{2} - \frac{211.8 \times 36}{1.7 \times 2.33 \times 120} \right)$$

$$M_{uo} = 932012 \text{ kNcm}$$

$$\left(\frac{N_{\max}}{N_u} \right)^2 + \frac{M_{\max}}{M_u} = \left(\frac{2320}{62580} \right)^2 + \frac{6973}{932012} = 0.01 < 1 \quad (\text{uygun})$$

BÖLÜM 4 YAPI ELEMANLARI BİRLEŞİM HESAPLARI

4.1 Kolon Ayağı Hesabı



Şekil 4.1: Kolon Ayağı Serbest Cisim Diyagramı

$$c = \frac{L}{4} \quad (4.1)$$

$$e = L - \frac{c}{2} - f \quad (4.2)$$

$$Z \times e + N_{\min} \times \left(\frac{L - \frac{c}{2}}{2} \right) - M_1 = 0 \Rightarrow Z = \frac{1}{e} \times \left(M_1 - N_{\min} \times \left(\frac{L - \frac{c}{2}}{2} \right) \right) \quad (4.3)$$

$$D \times e - N_{\max} \times \left(\frac{L}{2} - f \right) - M_2 = 0 \Rightarrow D = \frac{1}{e} \times \left(M_2 + N_{\max} \times \left(\frac{L}{2} - f \right) \right) \quad (4.4)$$

$$P = \frac{D}{\frac{A}{4} \times B} \quad (4.5)$$

A: Taban levhası boyu

B: Taban levhası eni

D: Kolon ayağında oluşan basınç kuvveti

Z: Kolon ayağında oluşan çekme kuvveti

P: Beton yüzünde oluşan basınç gerilmesi

Taban levhasının kalınlığının hesabı üç kenarından ankastre, bir kenarı boşta plak gibi düşünülüp çözülecektir;

$$K = P \times l_x \times l_y \quad (4.6)$$

$$\varepsilon = \frac{l_x}{l_y} \Rightarrow \text{Abaktan m bulunur} \quad (4.7)$$

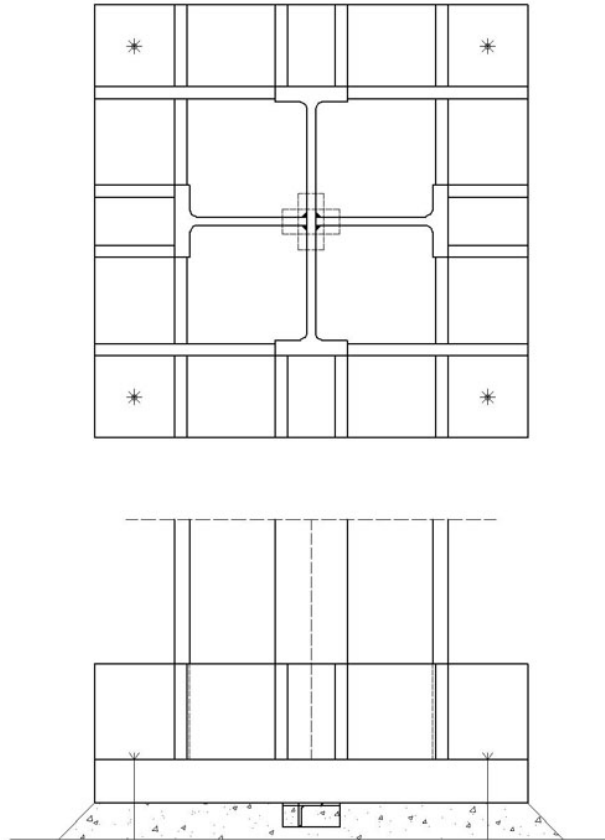
$$M = \frac{K}{m} \quad (4.8)$$

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesirleri : (G + Q Yüklemesi)

$$N_{\min} = 9717 \text{ kN} \Rightarrow M_1 = 3361 \text{ kNcm}$$

$$N_{\max} = 18841 \text{ kN} \Rightarrow M_2 = 2920 \text{ kNcm}$$

$$V_{\max} = 30 \text{ kN}$$



Şekil 4.2: Kolon Ayağı Detayı

4.1.1 Bulon Hesabı

$L = A = 190 \text{ cm}$, $B = 190 \text{ cm}$, $f = 30 \text{ cm}$ alınırsa;

$$c = \frac{190}{4} = 47.5 \text{ cm} \quad (4.1)$$

$$e = 190 - \frac{47.5}{2} - 30 = 136.25 \text{ cm} \quad (4.2)$$

$$Z = \frac{1}{136.25} \times \left(3361 - 9717 \times \left(\frac{190 - \frac{47.5}{2}}{2} \right) \right) = -5904 \text{ kN} \Rightarrow \text{Çekme kuvveti oluşmaz} \quad (4.3)$$

$$D = \frac{1}{136.25} \times \left(2920 + 18841 \times \left(\frac{190}{2} - 30 \right) \right) = 9010 \text{ kN} \quad (4.4)$$

Çekme kuvveti oluşmadığından ankraj amaçlı 4 adet M24 bulon yeterlidir

4.1.2 Beton Basınç Gerilmesi Kontrolü

$$P = \frac{9010}{\frac{190}{4} \times 190} = 0.99 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 1.00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{BS 35}) \quad (4.5) \quad (\text{uygun})$$

4.1.3 Taban Levhası Kalınlığı Kontrolü

Levha kalınlığı 20 cm alınırsa;

$$K = 0.99 \times 101.6 \times 101.6 = 10219 \text{ kN} \quad (4.6)$$

$$\varepsilon = \frac{101.6}{101.6} = 1 \Rightarrow m = 7.54 \quad (4.7)$$

$$M = \frac{10219}{7.54} = 1355 \text{ kNcm} \quad (4.8)$$

$$W_l = \frac{20^2 \times 1}{6} = 66.6 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{1355}{66.6} = 20.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.4 Guse Levhasını Profil Başlığına Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$N_{g,a} = N_{g,b} = \frac{18841}{24} + \frac{2920}{4 \times 101.6} = 792 \text{ kN}$$

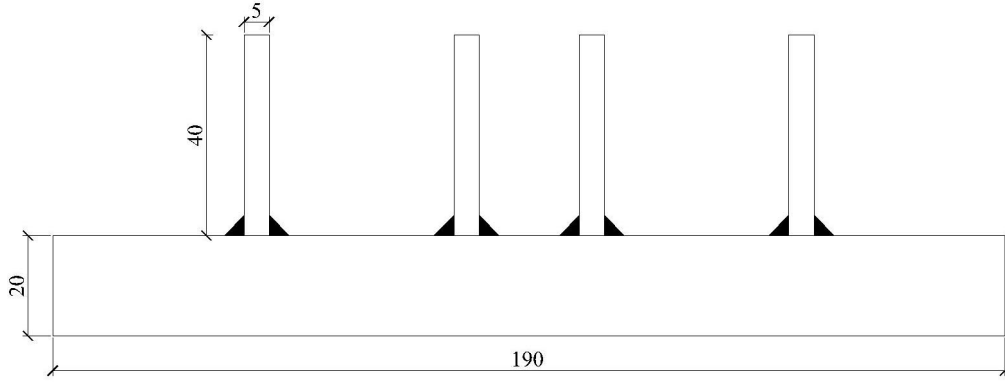
$$N_{g,c} = \frac{18841}{24} + \frac{2920}{8 \times 101.6} = 788.6 \text{ kN}$$

Guse levhası yüksekliği 40 cm, kaynak kalınlığı 1.5 cm, E8016 - C1 tipi elektrod seçilirse;

$$F_{k,a} = F_{k,b} = F_{k,c} = (40 - 2 \times 1.5) \times 1.5 = 55.5 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{k,a} = \tau_{k,b} = \tau_{k,c} = \frac{792}{55.5} = 14.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.5 Guse Levhalarının Uç Kesitinde Gerilme Kontrolü



Şekil 4.3: Guse Levhaları Kesiti

$$y_g = \frac{190 \times 20 \times 10 + 4 \times 5 \times 40 \times 40}{190 \times 20 + 4 \times 5 \times 40} = 15.22 \text{ cm}$$

$$I_{xx} = 4 \times \frac{40^3 \times 5}{12} + 4 \times 5 \times 40 \times (40 - 15.22)^2 + 190 \times 20 \times (15.22 - 10)^2 + \frac{190 \times 20^3}{12}$$

$$I_{xx} = 828116 \text{ cm}^4$$

$$M_D = D \times \left(\frac{A - h}{2} - \frac{A}{8} \right) = 9010 \times \left(\frac{190 - 101.6}{2} - \frac{190}{8} \right) = 184254.5 \text{ kNcm}$$

$$\sigma = \frac{184254.5}{828116} \times (40 + 20 - 15.22) = 9.96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.6 Guse Levhasını Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$S_x = 20 \times 190 \times (15.22 - 10) = 19836 \text{ cm}^3$$

$$Q = D = 9010 \text{ kN}$$

Kaynak kalınlığı 1.5 cm, elektrod tipi E8016 – C1 seçilirse;

$$\tau_k = \frac{Q \times S_x}{I_{xx} \times 2 \times a} = \frac{9010 \times 19836}{828116 \times 2 \times 4 \times 1.7} = 15.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.7 Kolon Gövdesini Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Kaynak kalınlığı 1 cm, elektrod tipi E8016 – C1 seçilirse;

$$\tau_k = \frac{30}{1 \times [(40 \times 4 - 1 \times 1 \times 2) + (40 \times 4 - 4 \times 2 \times 1)]} = 0.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.8 Kama Elemanında Kontrol

Seçilen eleman: St37 L 100 × 100 × 12 – 200 ($W_x = 24.62 \text{ cm}^3$, $t = 1 \text{ cm}$, $r = 1.2 \text{ cm}$)

$$p' = \frac{30}{20 \times (10 - 5)} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

$$M = 30 \times [(10 - (1 + 1.2))] = 234 \text{ kNcm}$$

$$\sigma = \frac{234}{24.62} = 9.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.1.9 Kamayı Taban Levhasına Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Kaynak kalınlığı 0.3 cm, elektrod tipi E8016 – C1 seçilirse;

$$I_k = 2 \times 1 \times \frac{(20 - 2 \times 0.3)^3}{12} = 1217 \text{ cm}^4$$

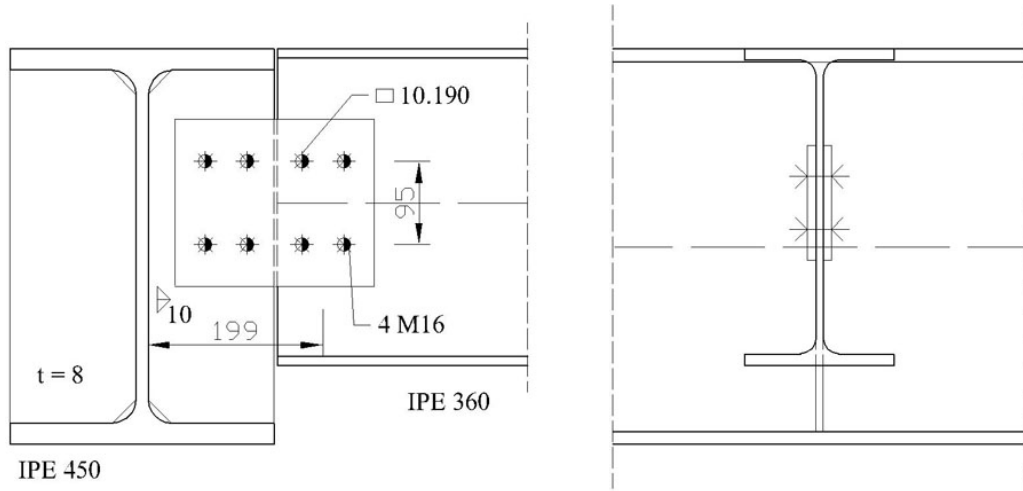
$$F_k = 2 \times 0.3 \times (20 - 2 \times 0.3) = 11.64 \text{ cm}^2$$

$$M = 30 \times \frac{10}{2} = 150 \text{ kNcm}$$

$$\sigma = \frac{150}{1217} \times \frac{10}{2} = 0.62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_k = \frac{30}{11.64} = 2.58 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.2 Döşeme Kirişi Bağlantı Hesabı



Şekil 4.4: Döşeme Kirişi Bağlantı Detayı

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesiri :V = 95 kN (T1 Tali Kirişi)

IPE 450 için; h = 45 cm, b = 19 cm, t_f = 1.46 cm, t_w = 0.94 cm, A = 98.82 cm²

IPE 360 için; h = 36 cm, b = 17 cm, t_f = 1.27 cm, t_w = 0.8 cm, A = 72.73 cm²

4.2.1 Bulon Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times t_{\min}} - 0.2 \quad (4.9)$$

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.66} - 0.2 = 1.6 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SL Tipi M16 (m = 2)

$$P_{\tau} = m \times \frac{\pi \times d^2}{4} \times \tau_{em} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = d_1 \times t_{min} \times \sigma_{l_{em}} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = \min (P_{\tau} ; P_{\sigma}) \quad (4.12)$$

$$P_{\tau} = 2 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} \times 24 = 96.5 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 1.6 \times 0.66 \times 38 = 40.1 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 40.1 \text{ kN} \quad (4.12)$$

$$V = 95 \text{ kN}$$

$$M = 95 \times 19.9 = 1890.5 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 2 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.5$

$$H = \frac{1890.5}{9.5} \times 0.5 = 99.5 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{95^2 + 99.5^2} = 137.6 \text{ kN}$$

$$n = \frac{137.6}{40.1} = 3.4 \Rightarrow 4 \text{ Adet M16 kullanılacaktır}$$

4.2.2 Döşeme Kirişi Azalan Gövde Kontrolü

$$F_n = 29.86 \times 0.66 - 2 \times 1.7 \times 0.66 = 17.4 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{137.6}{17.4} = 7.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 13.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.2.3 Nervür Levhasındaki Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$M = 95 \times \frac{19 - 0.94}{2} = 857.9 \text{ kNcm}$$

$$F_k = 2 \times 1 \times (37.88 - 2 \times 1) = 71.76 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times 1 \times \frac{(37.88 - 2 \times 1)^2}{6} = 429 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_k = \frac{857.9}{429} = 2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_k = \frac{95}{71.76} = 1.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1

$$\sigma_v = \sqrt{2^2 + 1.3^2} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.3 Kolonların Kesit Değiştirdiği Noktaların Ek Hesabı

Kolon ve kiriş eklerinin eğilme kapasitesi, eklenen elemanın eğilme kapasitesinden, kesme kuvveti kapasitesi ise denklem (4.13)'da verilen değerden az olmayacaktır. Ayrıca, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin eksenel kuvvet kapasiteleri $1.0 G + 1.0 Q \pm \Omega_0 E$ veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde $0.9 G \pm \Omega_0 E$ yüklemeleri ile hesaplanan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) yeterli olacaktır. Ek elemanlarının taşıma güçlerinin hesabında, denklem (4.14)'de verilen kaynak ve bulon gerilme sınır değerleri kullanılacaktır. [1]

$$V_e = V_{dy} \pm 1.1 \times R_a \times \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{I_n} \quad (4.13)$$

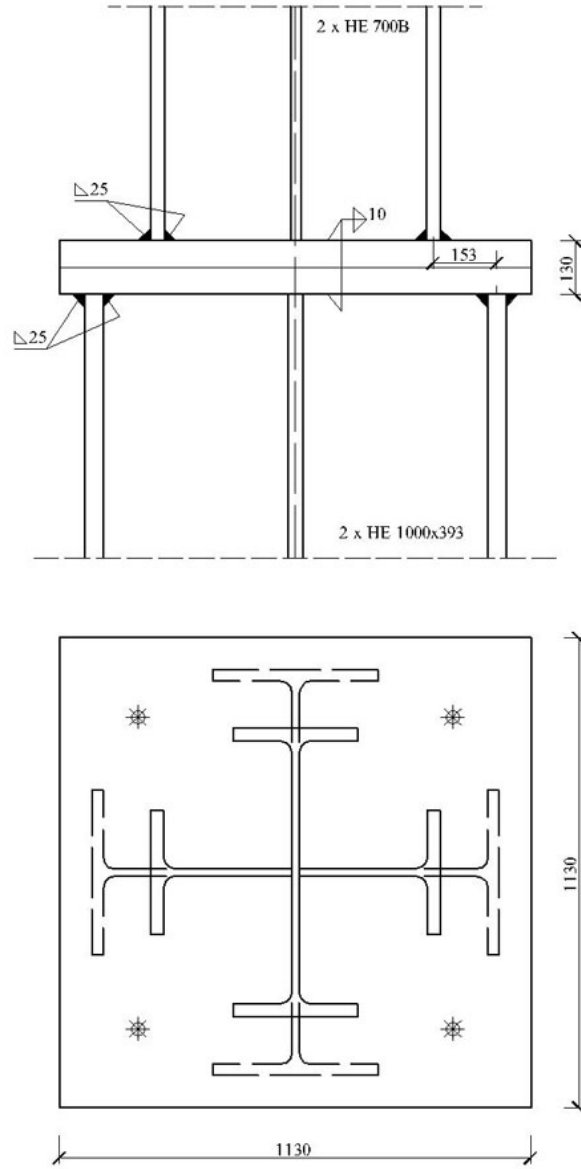
Tam penetrasyonlu kaynak : σ_a

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak ve köşe kaynağı : $1.7 \sigma_{em}$ (4.14)

Bulonlu birleşimler : $1.7 \sigma_{em}$

TDY'de birleşimler için denklem (4.14)'deki değerler verilmiş olmasına rağmen kaynak ve bulon gibi malzeme açısından gevrek birleşim elemanlarının, çelik profiller kadar sünek davranış göstermesinin mümkün olmayacağı düşüncesiyle bu denklemde bulunan 1.7 katsayıları kullanılmayacaktır.

4.3.1 5. Normal Kat Kolon Kesit Değişim Hesabı



Şekil 4.5: 5. Normal Kat Kolon Kesit Değişim Detayı

5. Normal katta kolon kesiti 2×HE 1000×393'den 2×HE 700B'e dönüşmektedir.

2×HE 1000×393 için; $h = 101.6$ cm, $b = 30.3$ cm, $t_f = 4.39$ cm, $t_w = 2.44$ cm

2×HE 700B için; $h = 70$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3.2$ cm, $t_w = 1.7$ cm, $d = 58.2$ cm, $A = 306.4$ cm²

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesiri :

$N_p = 15329$ kN (G + Q + 2.5 E Yüklemesi)

Temas eki şartlarının gerçekleştiği kabulüyle kaynak dikişleri P/2 yüküne göre hesaplanacaktır [5 - Sayfa:491]

$$F_b = 4 \times 30 \times 3.2 = 384 \text{ cm}^2$$

$$F_g = 2 \times 306.4 - 384 = 228.8 \text{ cm}^2$$

$$N_{pb} = \frac{15329}{2} \times \frac{384}{2 \times 306.4} = 4803 \text{ kN}$$

$$N_{pg} = \frac{15329}{2} \times \frac{228.8}{2 \times 306.4} = 2862 \text{ kN}$$

4.3.1.1 Gövdeyi Enine Levhaya Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$F_k = 2 \times 1 \times 58.2 = 116.4 \text{ cm}^2$$

Seçilen elektrod tipi: E10016 – D2

$$\sigma_k = \frac{2862}{116.4} = 24.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 27.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.3.1.2 Başlığı Enine Levhaya Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$F_k = 2.5 \times (30 + 30 + 2 \times 3.2 - 1.7 \times 2) = 157.5 \text{ cm}^2$$

Seçilen elektrod tipi: E11018 – M

$$\sigma_k = \frac{4803}{157.5} = 30.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 30.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

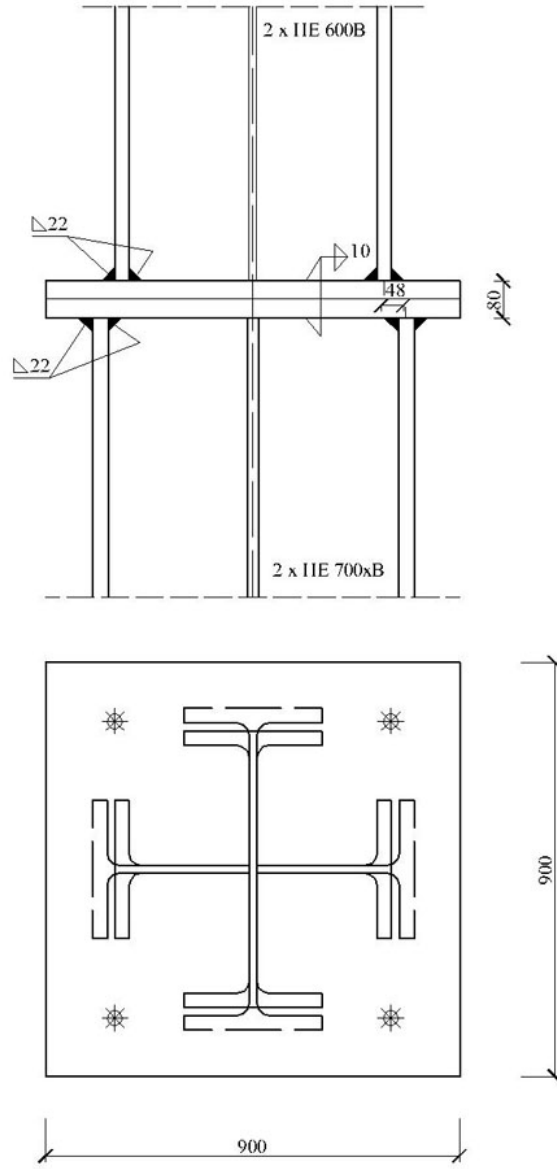
4.3.1.3 Levha Gerilme Kontrolü

$$M = 4803 \times 15.3 = 73486 \text{ kNcm}$$

$$W = \frac{113 \times 13^2}{6} = 3183 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_k = \frac{73486}{3183} = 23 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.3.2 10. Normal Kat Kolon Kesit Değişim Hesabı



Şekil 4.6: 10. Normal Kat Kolon Kesit Değişim Detayı

10. Normal katta kolon kesiti 2×HE 700B’den 2×HE 600B’ye dönüşmektedir.

2×HE 700B için; $h = 70$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3.2$ cm, $t_w = 1.7$ cm

2×HE 600B için; $h = 60$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3$ cm, $t_w = 1.55$ cm, $d = 48.6$ cm, $A = 270$ cm²

Bilgisayar Programından Alınan En Elverişsiz Kesit Tesiri :

$N_p = 10709$ kN (G + Q + 2.5 E Yüklemesi)

Temas eki şartlarının gerçekleştiği kabulüyle kaynak dikişleri P/2 yüküne göre hesaplanacaktır [5 - Sayfa:491]

$$F_b = 4 \times 30 \times 3 = 360 \text{ cm}^2$$

$$F_g = 2 \times 270 - 360 = 180 \text{ cm}^2$$

$$N_{pb} = \frac{10709}{2} \times \frac{360}{2 \times 270} = 3570 \text{ kN}$$

$$N_{pg} = \frac{10709}{2} \times \frac{180}{2 \times 270} = 1785 \text{ kN}$$

4.3.2.1 Gövdeyi Enine Levhaya Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$F_k = 2 \times 1 \times 48.6 = 97.2 \text{ cm}^2$$

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1

$$\sigma_k = \frac{1785}{97.2} = 18.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.3.2.2 Başlığı Enine Levhaya Bağlayan Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$F_k = 2.2 \times (30 + 30 + 2 \times 3 - 1.55 \times 2) = 138.4 \text{ cm}^2$$

Seçilen elektrod tipi: E10016 – D2

$$\sigma_k = \frac{3570}{138.4} = 25.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 27.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.3.2.3 Levha Gerilme Kontrolü

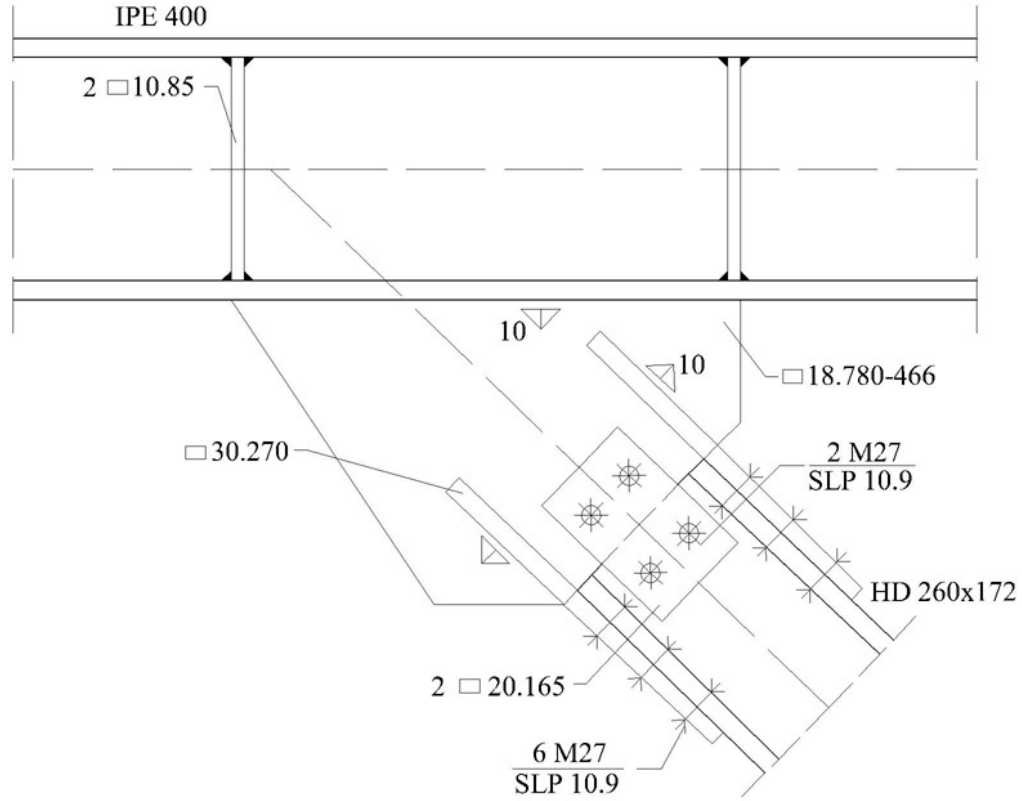
$$M = 3570 \times 4.8 = 17136 \text{ kNcm}$$

$$W = \frac{90 \times 8^2}{6} = 960 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_k = \frac{17136}{960} = 17.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.4 Çaprazların Bağ Kirişlerine Bağlantı Hesabı

4.4.1 X Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.7: X Doğrultusundaki Çaprazların Bağ Kirişine Bağlantı Detayı

Bilgisayar Programından Alınan Çaprazdaki En Elverişsiz Kesit Tesiri : $N_d = 713 \text{ kN}$

$$N_{\text{çapraz}} = 1.25 \times 1.1 \times 2.23 \times 713 = 2186 \text{ kN}$$

HD 260×172 için; $h = 29 \text{ cm}$, $b = 26.8 \text{ cm}$, $t_f = 3.25 \text{ cm}$, $t_w = 1.8 \text{ cm}$, $A = 219.6 \text{ cm}^2$

4.4.1.1 Bulon Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 1.8} - 0.2 = 2.8 \text{ cm} \Rightarrow \text{M27 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngermeli M27

Başlıktaki Bulonlar İçin;

$$m = 1$$

$$P_{\tau} = 1 \times \frac{\pi \times 2.8^2}{4} \times 32 = 197 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.8 \times 3 \times 71 = 596 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 197 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Gövdedeki Bulonlar İçin;

$$m = 2$$

$$P_{\tau} = 2 \times \frac{\pi \times 2.8^2}{4} \times 32 = 394 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.8 \times 1.8 \times 71 = 357.8 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 357.8 \text{ kN} \quad (4.12)$$

$$F_b = 26.8 \times 3.25 = 87.1 \text{ cm}^2$$

$$F_g = 219.6 - 2 \times 87.1 = 45.4 \text{ cm}^2$$

$$N_{pb} = 2186 \times \frac{87.1}{219.6} = 867 \text{ kN}$$

$$N_{pg} = 2186 \times \frac{45.4}{219.6} = 451.9 \text{ kN}$$

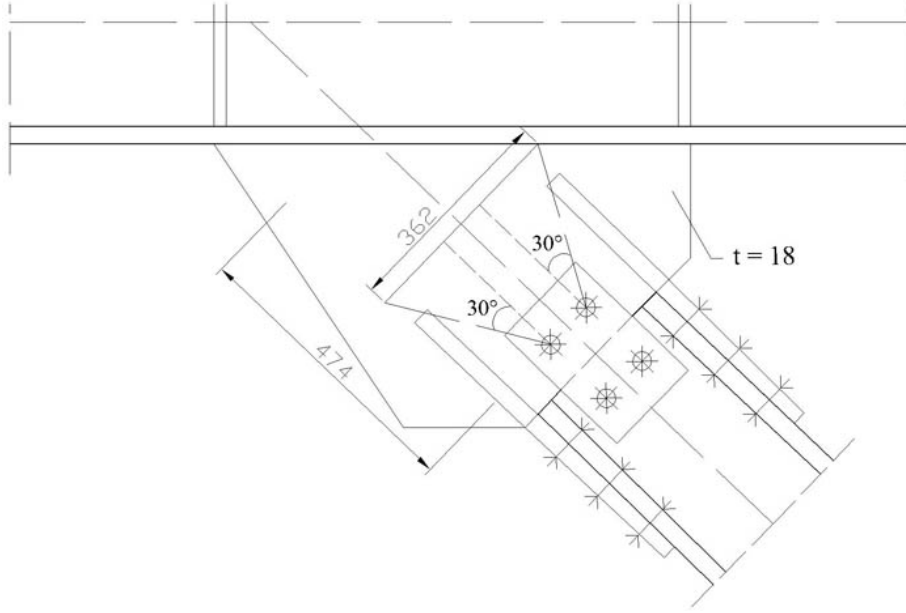
Başlığa 6 adet, gövdeye 2 adet M27 konulursa;

$$N_{pb,bulon} = 6 \times 197 = 1182 \text{ kN} > N_{pb} = 867 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$N_{pg,bulon} = 2 \times 357.8 = 715.6 \text{ kN} > N_{pg} = 451.9 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.4.1.2 Guse Levhası Kontrolü

Guse levhası, çapraz elemanın ilettiği kuvveti burkulmadan taşıyabilmelidir. Levha Whitmore Metoduna göre kontrol edilecektir.



Şekil 4.8: X Doğrultusundaki Çaprazların Bağ Kirişi Bağlantı Detayı İçin Whitmore Kesiti Boyutları

l_{we} : Whitmore kesiti efektif boyu

l_b : Guse levhası burkulma boyu

$$l_{we} = 36.17 \text{ cm}$$

$$t = 1.8 \text{ cm}$$

$$l_b = 47.4 \text{ cm}$$

Guse levhası, iki ucu ankastre çubuk gibi kabul edilirse; $K = 0.5$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{l_{we} \times t^3}{12}}{l_{we} \times t}} = \sqrt{\frac{t^2}{12}} = \frac{1.8}{\sqrt{12}} = 0.52 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{0.5 \times 47.4}{0.52} = 45.6 \Rightarrow \omega = 1.22$$

$$N_1 = \frac{16.56}{1.22} \times 1.8 \times 36.17 = 883 \text{ kN} > N_d = 713 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.4.1.3 Guse Levhasındaki Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$N_{\text{çapraz}} = 2186 \times \frac{3}{6.708} = 978 \text{ kNcm}$$

$$N_{\text{çapraz}} = 2186 \times \frac{6}{6.708} = 1955 \text{ kNcm}$$

$$F_k = 2 \times 1 \times (70 - 2 \times 1) = 136 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{1955}{136} = 14.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_k = \frac{978}{136} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Seçilen elektrod tipi: E10016 - D2

$$\sigma_v = \sqrt{14.4^2 + 7.2^2} = 16.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 27.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.4.1.4 Flanş Levhası Kontrolü

$$P = \frac{2186 - 2 \times 357.8}{2} = 735.2 \text{ kN}$$

$$F_n = 27 \times 3 - 2 \times 3 \times 2.8 = 64.2 \text{ cm}^2$$

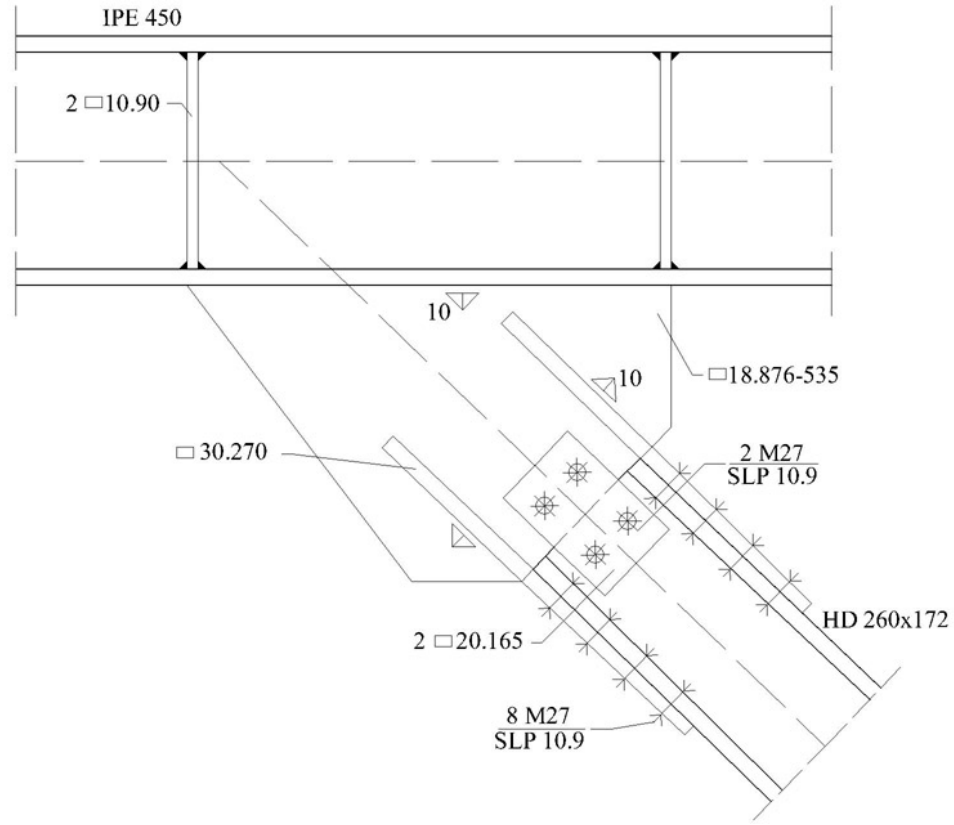
$$\sigma = \frac{735.2}{64.2} = 11.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.4.1.5 Flanş Levhasındaki Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E10016 - D2, a = 1 cm, l = 25 cm

$$\tau = \frac{735.2}{2 \times 1 \times (25 - 2 \times 1)} = 16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.4.2 Y Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.9: Y Doğrultusundaki Çaprazların Bağ Kirişine Bağlantı Detayı

Bilgisayar Programından Alınan Çaprazdaki En Elverişsiz Kesit Tesiri: $N_d = 1085 \text{ kN}$

$$N_{\text{çapraz}} = 1.25 \times 1.1 \times 2.06 \times 1085 = 3073 \text{ kN}$$

HD 260×172 için; $h = 29 \text{ cm}$, $b = 26.8 \text{ cm}$, $t_f = 3.25 \text{ cm}$, $t_w = 1.8 \text{ cm}$, $A = 219.6 \text{ cm}^2$

4.4.2.1 Bulon Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 1.8} - 0.2 = 2.8 \text{ cm} \Rightarrow \text{M27 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngermeli M27

Başlıktaki Bulonlar İçin;

$$m = 1$$

$$P_{\tau} = 1 \times \frac{\pi \times 2.8^2}{4} \times 32 = 197 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.8 \times 3 \times 71 = 596 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 197 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Gövdedeki Bulonlar İçin;

$$m = 2$$

$$P_{\tau} = 2 \times \frac{\pi \times 2.8^2}{4} \times 32 = 394 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.8 \times 1.8 \times 71 = 357.8 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 357.8 \text{ kN} \quad (4.12)$$

$$F_b = 26.8 \times 3.25 = 87.1 \text{ cm}^2$$

$$F_g = 219.6 - 2 \times 87.1 = 45.4 \text{ cm}^2$$

$$N_{pb} = 3073 \times \frac{87.1}{219.6} = 1218 \text{ kN}$$

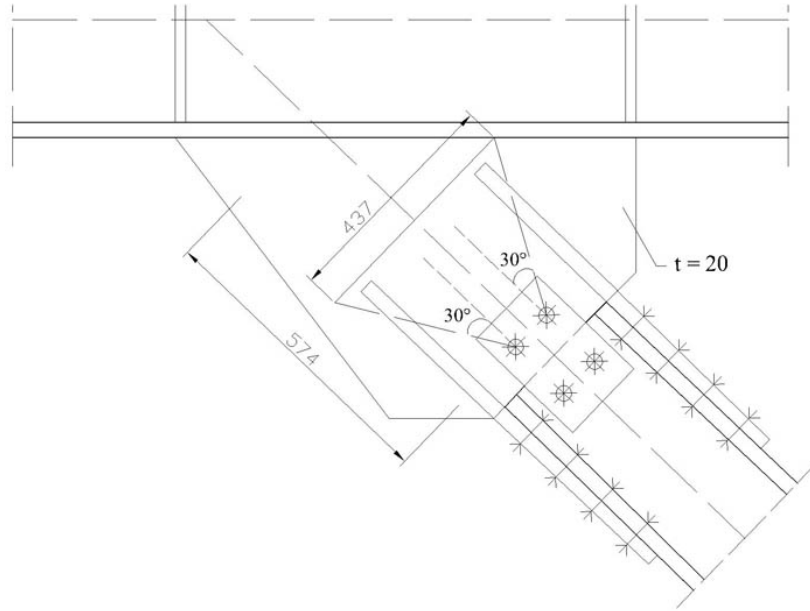
$$N_{pg} = 3073 \times \frac{45.4}{219.6} = 635 \text{ kN}$$

Başlığa 8 adet, gövdeye 2 adet M27 konulursa;

$$N_{pb, bulon} = 8 \times 197 = 1576 \text{ kN} > N_{pb} = 1218 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$N_{pg, bulon} = 2 \times 357.8 = 715.6 \text{ kN} > N_{pg} = 635 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.4.2.2 Guse Levhası Kontrolü



Şekil 4.10: Y Doğrultusundaki Çaprazların Bağ Kirişi Bağlantı Detayı İçin Whitmore Kesiti Boyutları

$$l_{we} = 43.7 \text{ cm}$$

$$t = 2 \text{ cm}$$

$$l_b = 57.4 \text{ cm}$$

$$K = 0.5$$

$$i = \frac{2}{\sqrt{12}} = 0.577 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{0.5 \times 57.4}{0.577} = 49.7 \Rightarrow \omega = 1.26$$

$$N_1 = \frac{16.56}{1.26} \times 2 \times 43.7 = 1149 \text{ kN} > N_d = 1085 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.4.2.3 Guse Levhasındaki Kaynak Dikişlerinin Hesabı

$$N_{\text{çapraz}} = 3073 \times \frac{3}{6.708} = 1374 \text{ kNcm}$$

$$N_{\text{çapraz}} = 3073 \times \frac{6}{6.708} = 2749 \text{ kNcm}$$

$$F_k = 2 \times 1 \times (70 - 2 \times 1) = 136 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_k = \frac{2749}{136} = 20.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_k = \frac{1374}{136} = 10.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Seilen elektrod tipi: E10016 - D2

$$\sigma_v = \sqrt{20.2^2 + 10.1^2} = 22.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 27.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.4.2.4 Flanş Levhası Kontrolü

$$P = \frac{3073 - 2 \times 357.8}{2} = 1178.7 \text{ kN}$$

$$F_n = 27 \times 3 - 2 \times 3 \times 2.8 = 64.2 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{1178.7}{64.2} = 18.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 24 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

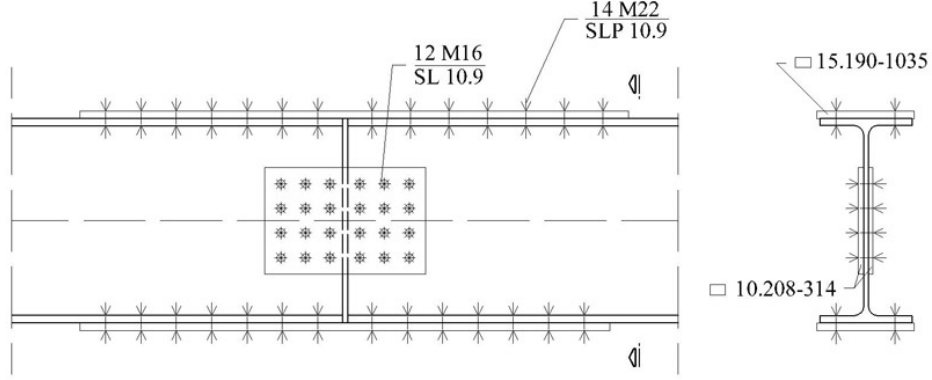
4.4.2.5 Flanş Levhasındaki Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E10016 - D2, a = 1 cm, l = 35 cm

$$\tau = \frac{1178.7}{2 \times 1 \times (35 - 2 \times 1)} = 17.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.5 Kirişlerin Ek Hesabı

4.5.1 X Doğrultusundaki Kompozit IPE 400 Kesitli Kirişlerin Eki



Şekil 4.11: Kompozit IPE 400 Kirişi Ek Detayı

Kompozit IPE 400 için; $M_p = 74573.2 \text{ kNcm}$

$$V_p = 1.1 \times \frac{74573.2 + 74573.2}{800} = 205 \text{ kN} \quad (4.13)$$

$$I_{ek}^B = 2 \times 1.5 \times 19 \times 20.75^2 = 24542 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek}^G = 2 \times 1 \times \frac{20.8^3}{12} = 1500 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek} = 24542 + 1500 = 26042 \text{ cm}^4$$

$$M_{ek}^B = 74573.2 \times \frac{24542}{26042} = 70278 \text{ kNcm}$$

$$M_{ek}^G = 74573.2 \times \frac{1500}{26042} = 429.3 \text{ kNcm}$$

$$Q_{ek}^G = 205 \text{ kN}$$

4.5.1.1 Levha Gerilme Kontrolü

$$M_{p,levha} = 1.5 \times (19 - 2 \times 2.5) \times 41^2 \times 24 = 847224 \text{ kNcm} > M_p = 70278 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

$$V_{p,levha} = 0.6 \times 2 \times 1 \times (20.8 - 2 \times 1.7) \times 24 = 501 \text{ kN} > V_p = 205 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.5.1.2 Bulon Hesabı

Başlıktaki Bulonlar İçin;

$$d_1 = \sqrt{5 \times 1.35} - 0.2 = 2.39 \text{ cm} \Rightarrow \text{SLP Tipi Öngermeli M22 (m = 1) kullanılacaktır} \quad (4.9)$$

$$P_\tau = 1 \times \frac{\pi \times 2.3^2}{4} \times 32 = 132.9 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 2.3 \times 1.35 \times 71 = 220.5 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 132.9 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Başlığa 14 adet M22 konulursa;

$$132.9 \times 14 = 1860 \text{ kN} > \frac{70287}{40} = 1757 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Gövdedeki Bulonlar İçin;

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SL Tipi M16, m = 2

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} \times 27 = 108.5 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 1.6 \times 0.86 \times 64 = 88 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 88 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Gövdeye 12 adet M16 konulursa;

$$M_{ek}^G = 429.3 + 205 \times 7.2 = 1905.3 \text{ kNcm}$$

$$r_1 = 5.36, r_2 = 8.65 \text{ cm}, r_3 = 2.4 \text{ cm}, r_4 = 7.2 \text{ cm}$$

$$\Sigma r_i^2 = 4 \times 5.36^2 + 4 \times 8.65^2 + 2 \times 2.4^2 + 2 \times 7.2^2 = 529.4 \text{ cm}^2$$

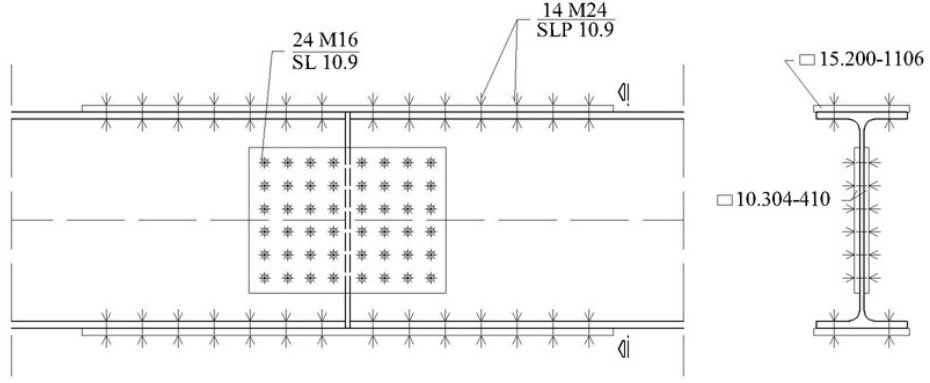
$$N_{1x}^M = 1905.3 \times \frac{7.2}{529.4} = 25.9 \text{ kN}$$

$$N_{1y}^M = 1905.3 \times \frac{4.8}{529.4} = 17.3 \text{ kN}$$

$$N_{1y}^Q = \frac{205}{12} = 17.1 \text{ kN}$$

$$P_{em} = 88 \text{ kN} > N_1 = \sqrt{25.9^2 + (17.3 + 17.1)^2} = 43 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.5.2 Y Doğrultusundaki Kompozit IPE 450 Kesitli Kirişlerin Eki



Şekil 4.12: Kompozit IPE 450 Kirişi Ek Detayı

Kompozit IPE 450 için; $M_p = 100825 \text{ kNcm}$

$$V_p = 1.1 \times \frac{100825 + 100825}{800} = 277.3 \text{ kN} \quad (4.13)$$

$$I_{ek}^B = 2 \times 1.5 \times 20 \times 23.25^2 = 32433.7 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek}^G = 2 \times 1 \times \frac{30.4^3}{12} = 4682.4 \text{ cm}^4$$

$$I_{ek} = 32433.7 + 4682.4 = 37116.1 \text{ cm}^4$$

$$M_{ek}^B = 100825 \times \frac{32433.7}{37116.1} = 88105.4 \text{ kNcm}$$

$$M_{ek}^G = 100825 \times \frac{4682.4}{37116.1} = 88105.4 \text{ kNcm}$$

$$Q_{ek}^G = 277.3 \text{ kN}$$

4.5.2.1 Levha Gerilme Kontrolü

$$M_{p,levha} = 1.5 \times (20 - 2 \times 2.5) \times 46^2 \times 24 = 1142640 \text{ kNcm} > M_p = 88105.4 \text{ kNcm} \quad (\text{uygun})$$

$$V_{p,levha} = 0.6 \times 2 \times 1 \times (30.4 - 2 \times 1.7) \times 24 = 777.6 \text{ kN} > V_p = 277.3 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.5.2.2 Bulon Hesabı

Başlıktaki Bulonlar İçin;

$$d_1 = \sqrt{5 \times 1.46} - 0.2 = 2.5 \text{ cm} \Rightarrow \text{SLP Tipi Öngermeli M24 (m = 1) kullanılacaktır} \quad (4.9)$$

$$P_\tau = 1 \times \frac{\pi \times 2.5^2}{4} \times 32 = 157 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 2.5 \times 1.46 \times 71 = 259.1 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 157 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Başlığa 14 adet M24 konulursa;

$$157 \times 14 = 2198 \text{ kN} > \frac{88105.4}{45} = 1958 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

Gövdedeki Bulonlar İçin;

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.94} - 0.2 = 1.96 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SL Tipi M16, m = 2

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.6^2}{4} \times 27 = 108.6 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 1.6 \times 0.94 \times 64 = 96.3 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 96.3 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Gövdeye 24 adet M16 konulursa;

$$M_{ek}^G = 12720 + 277.3 \times 7.2 = 14716.5 \text{ kNcm}$$

$$r_1 = 3.39, r_2 = 7.59 \text{ cm}, r_3 = 10.2 \text{ cm}, r_4 = 14 \text{ cm}, r_5 = 12.2 \text{ cm}$$

$$\Sigma r_i^2 = 4 \times 3.39^2 + 8 \times 7.59^2 + 4 \times 10.2^2 + 4 \times 14^2 + 4 \times 12.2^2 = 2302 \text{ cm}^2$$

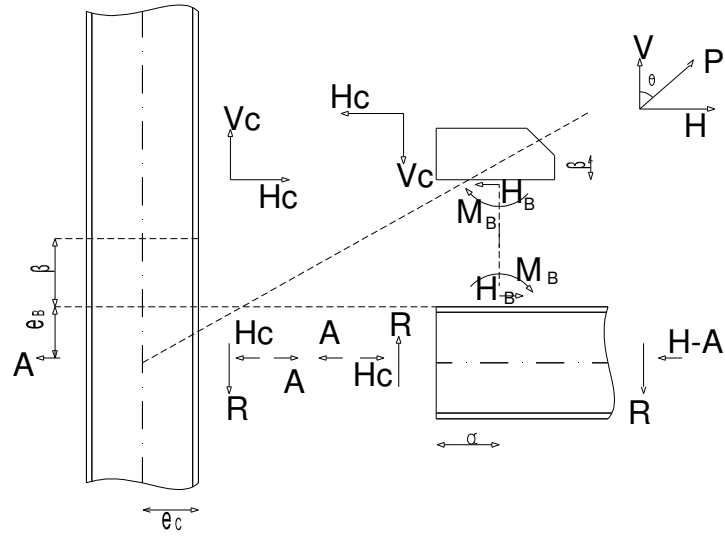
$$N_{1x}^M = 14716.5 \times \frac{12}{2302} = 76.7 \text{ kN}$$

$$N_{1y}^M = 14716.5 \times \frac{7.2}{2302} = 46 \text{ kN}$$

$$N_{1y}^Q = \frac{277.3}{24} = 11.6 \text{ kN}$$

$$P_{em} = 96.3 \text{ kN} > N_1 = \sqrt{76.7^2 + (46 + 11.6)^2} = 95.9 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6 Çaprazların Kolon ve Kirişe Bağlantı Hesabı



Şekil 4.13: Düğüm Noktası Serbest Cisim Diyagramı

H: Çapraza etkiyen yatay kuvvet

V: Çapraza etkiyen dikey kuvvet

P : Çapraza etkiyen eksenel kuvvet

e_b : Kirişin yarı yüksekliği

e_c : Kolonun yarı yüksekliği

α : Kolon yüzeyinden guse levhasının merkezine olan uzaklık

β : Kiriş yüzeyinden guse levhasının merkezine olan uzaklık

Birleşimde ilave moment oluşmaması için levha boyutları denklem (4.15)'e uygun olmalıdır.

$$\alpha - \beta \times \tan \theta = e_b \times \tan \theta - e_c \quad (4.15)$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} \quad (4.16)$$

$$V_c = P \times \frac{\beta}{r} \quad (4.17)$$

$$H_c = P \times \frac{e_c}{r} \quad (4.18)$$

$$H_b = P \times \frac{\alpha}{r} \quad (4.19)$$

$$V_b = P \times \frac{e_b}{r} \quad (4.20)$$

$$P_V = V_b \pm R_b \quad (4.21)$$

$$V = V_c + P_V \quad (4.22)$$

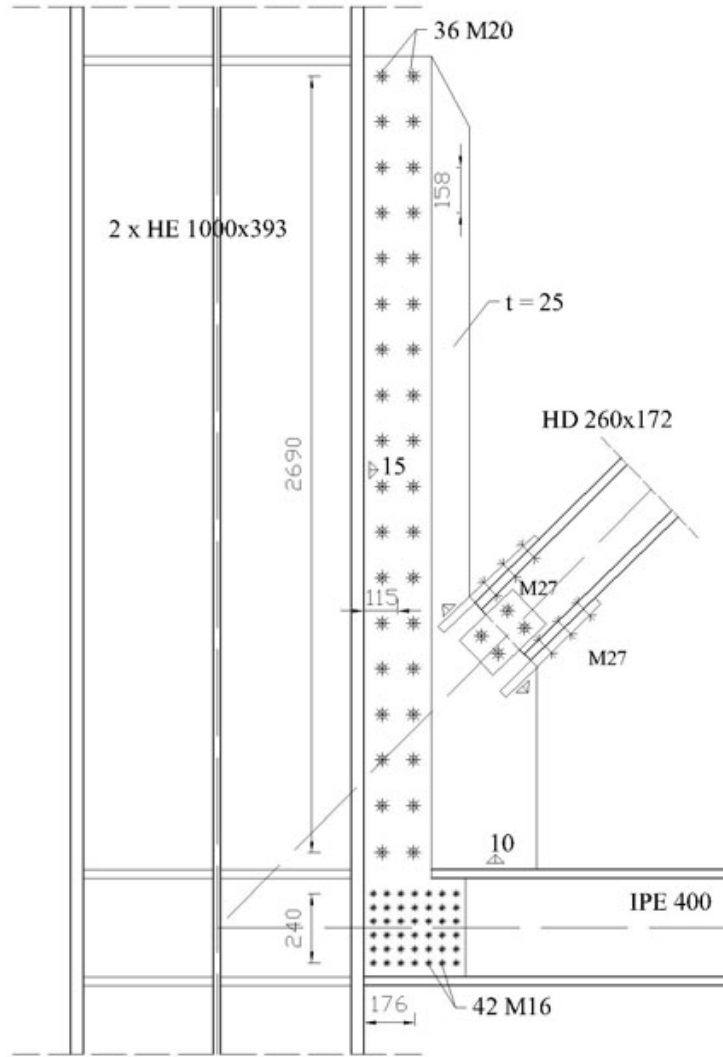
$$H = H_c + P_H \quad (4.23)$$

$$P_H = A_b + H_c \quad (4.24)$$

R_b : Kirişe etkiyen kesme kuvveti

A_b : Kirişe etkiyen eksenel kuvvet

4.6.1 Zemin Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.14: Zemin Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260×172 için; h = 29 cm, b = 26.8 cm, $t_f = 3.25$ cm, $t_w = 1.8$ cm, $A = 219.6 \text{ cm}^2$

2×HE 1000×393 için; h = 101.6 cm, b = 30.3 cm, $t_f = 4.39$ cm, $t_w = 2.44$ cm

IPE 400 için; h = 40 cm, b = 18 cm, $t_f = 1.35$ cm, $t_w = 0.86$ cm

$$e_b = 20 \text{ cm}, e_c = 50.8 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{6} = 0.5$$

$$\alpha - \beta \times 0.5 = 20 \times 0.5 - 50.8 \Rightarrow \alpha = 0.5 \times \beta - 40.8 \quad (4.15)$$

$\alpha = 30$ ve $\beta = 141.6$ cm alınır;

$$r = \sqrt{(30 + 50.8)^2 + (141.6 + 20)^2} = 180.7 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{141.6}{180.7} = 4883.5 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{50.8}{180.7} = 1752 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{30}{180.7} = 1034.6 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{20}{180.7} = 689.7 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.1.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 40 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (40 - 2 \times 1) = 76 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{1034.6}{76} = 13.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{689.7}{76} = 9.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{13.6^2 + 9.1^2} = 16.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.1.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_{\tau} = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 18 sıra olmak üzere toplam 36 adet M20 konulursa;

$$P_{1x}^{Hc} = \frac{1752}{36} = 49 \text{ kN}$$

$$P_{1y}^{Vc} = \frac{4883.5}{36} = 136 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 4883.5 \times 11.5 = 56160 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 18 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.149$

$$P_{1x}^M = \frac{56160}{269} \times 0.149 = 31.1 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(49 + 31.1)^2 + 136^2} = 158 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.1.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1.5 \text{ cm}$, $l = 150 - 2 \times 1.5 = 147 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1.5 \times 147 = 441 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1.5 \times 147^2}{6} = 10804.5 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 53 \text{ kN}$$

$$P_V = 689.7 + 53 = 742.7 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 100 \text{ kN}$$

$$P_H = 100 + 1752 = 1852 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 4883.5 + 742.7 = 5626.2 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1752 + 1852 = 3604 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 5626.2 \times 11.5 = 64701 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{5626.2}{441} = 12.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{3604}{441} + \frac{64701}{10804.5} = 14.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{12.7^2 + 14.2^2} = 19.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.1.4 Kirişı Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_o = 1.7 \times 0.86 \times 71 = 103.8 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 7 sıra, yatay olarak 6 sıra olmak üzere toplam 42 adet M16 konulursa;

$$P_{1x}^{P_H} = \frac{1852}{42} = 44 \text{ kN}$$

$$P_{1y}^{P_V} = \frac{742.7}{42} = 17.7 \text{ kN}$$

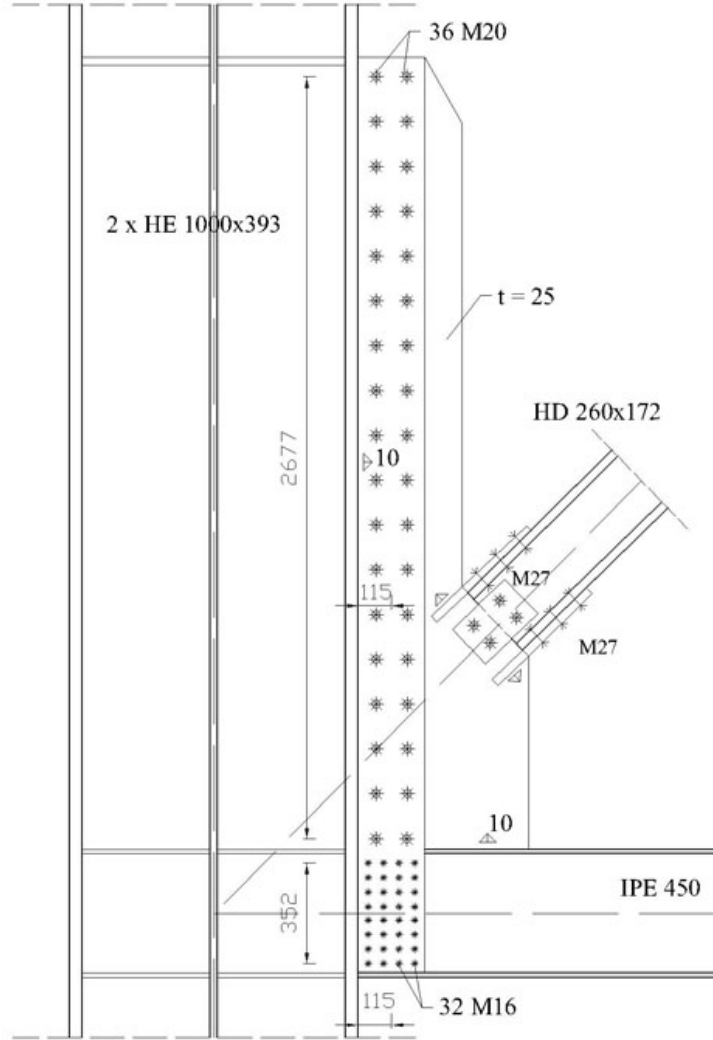
Dikey 7, yatay 6 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.102$

$$M = P_V \times e = 742.7 \times 17.6 = 13071.5 \text{ kNcm}$$

$$P_{lx}^M = \frac{13071.5}{24} \times 0.102 = 55.5 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(44 + 55.5)^2 + 17.7^2} = 101.1 \text{ kN} < P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.2 Zemin Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.15: Zemin Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260x172 için; h = 29 cm, b = 26.8 cm, $t_f = 3.25$ cm, $t_w = 1.8$ cm, $A = 219.6 \text{ cm}^2$

2xHE 1000x393 için; h = 101.6 cm, b = 30.3 cm, $t_f = 4.39$ cm, $t_w = 2.44$ cm

IPE 450 için; h = 45 cm, b = 19 cm, $t_f = 1.46$ cm, $t_w = 0.94$ cm

$$e_b = 22.5 \text{ cm}, e_c = 50.8 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{6} = 0.5$$

$$\alpha - \beta \times 0.5 = 22.5 \times 0.5 - 50.8 \Rightarrow \alpha = 0.5 \times \beta - 39.55 \quad (4.15)$$

$\alpha = 30$ ve $\beta = 139.1$ cm alınır;

$$r = \sqrt{(30 + 50.8)^2 + (139.1 + 22.5)^2} = 180.7 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{139.1}{180.7} = 4797.3 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{50.8}{180.7} = 1752 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{30}{180.7} = 1034.6 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{22.5}{180.7} = 776 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.2.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 50 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (50 - 2 \times 1) = 96 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{1034.6}{96} = 10.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{776}{96} = 8.08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{10.7^2 + 8.08^2} = 13.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.2.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 18 sıra olmak üzere toplam 36 adet M20 konulursa;

$$P_{lx}^{Hc} = \frac{1752}{36} = 48.7 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{Vc} = \frac{4797.3}{36} = 133.3 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 4797.3 \times 11.5 = 55888.5 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 18 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.149$

$$P_{lx}^M = \frac{55888.5}{267.7} \times 0.149 = 31.1 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(48.7 + 31.1)^2 + 133.3^2} = 155.3 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.2.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1 \text{ cm}$, $l = 190 - 2 \times 1 = 188 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1 \times 188 = 376 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1 \times 188^2}{6} = 11781 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 86 \text{ kN}$$

$$P_v = 776 + 86 = 862 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 110 \text{ kN}$$

$$P_H = 110 + 1752 = 1862 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 4797.3 + 862 = 5659.3 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1752 + 1862 = 3614 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 5659.3 \times 11.65 = 65931 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{5659.3}{376} = 15.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{3614}{376} + \frac{65931}{11781} = 15.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{15.1^2 + 15.2^2} = 21.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.2.4 Kirişi Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.94} - 0.2 = 1.96 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 1.7 \times 0.94 \times 71 = 113.4 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 113.4 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 4 sıra, yatay olarak 8 sıra olmak üzere toplam 32 adet M16 konulursa;

$$P_{lx}^{P_H} = \frac{1862}{32} = 58.2 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{P_v} = \frac{862}{32} = 26.9 \text{ kN}$$

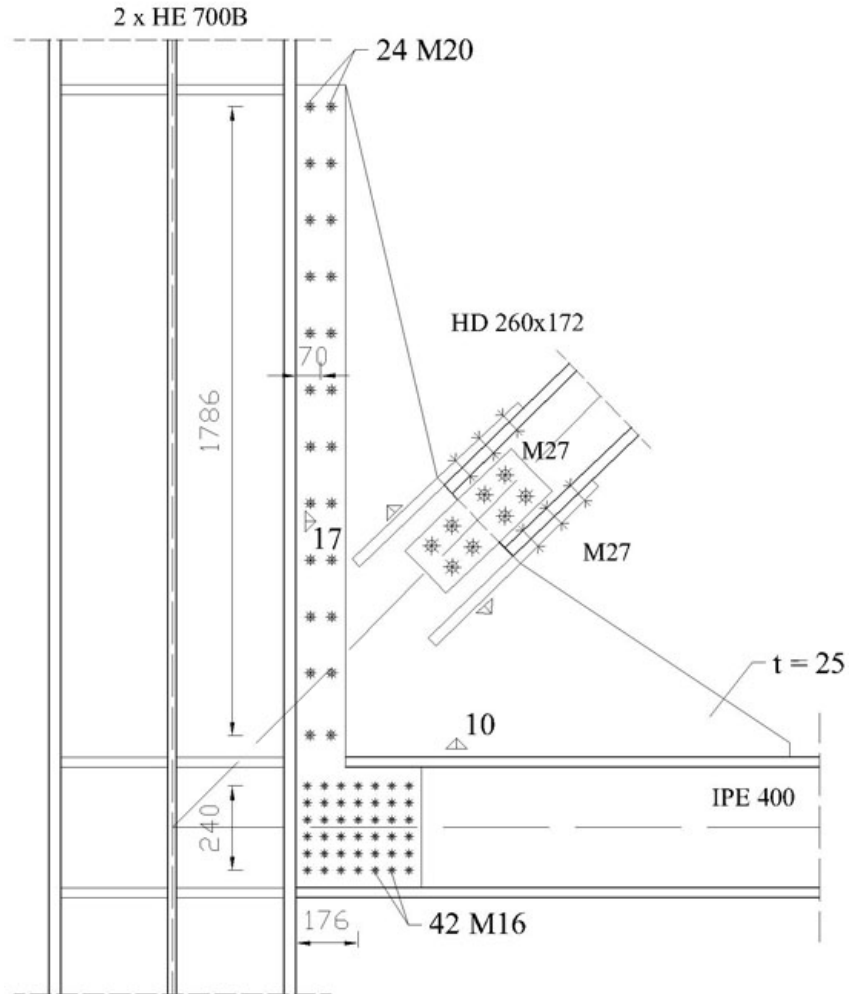
Dikey 5, yatay 8 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.1458$

$$M = P_v \times e = 862 \times 11.5 = 9913 \text{ kNcm}$$

$$P_{lx}^M = \frac{9913}{35.2} \times 0.1458 = 41.1 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(58.2 + 41.1)^2 + 26.9^2} = 103 \text{ kN} < P_{em} = 113.4 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.3 5.Normal Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.16: 5.Normal Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260×172 için; h = 29 cm, b = 26.8 cm, t_f = 3.25 cm, t_w = 1.8 cm, A = 219.6 cm²

2×HE 700B için; h = 70 cm, b = 30 cm, t_f = 3.2 cm, t_w = 1.7 cm

IPE 400 için; h = 40 cm, b = 18 cm, t_f = 1.35 cm, t_w = 0.86 cm

$$e_b = 20 \text{ cm}, e_c = 35 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{3.3} = 0.909$$

$$\alpha - \beta \times 0.909 = 20 \times 0.909 - 35 \Rightarrow \alpha = 0.909 \times \beta - 16.82 \quad (4.15)$$

$\alpha = 70$ ve $\beta = 95.5$ cm alınır;

$$r = \sqrt{(70 + 35)^2 + (95.5 + 20)^2} = 156.1 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{95.5}{156.1} = 3813.3 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{35}{156.1} = 1397.4 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{70}{156.1} = 2794.7 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{20}{156.1} = 798.5 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.3.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 70 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (70 - 2 \times 1) = 136 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{2794.7}{136} = 20.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{798.5}{136} = 5.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{20.5^2 + 5.8^2} = 21.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.3.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_r = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 12 sıra olmak üzere toplam 24 adet M20 konulursa;

$$P_{lx}^{Hc} = \frac{1397.4}{24} = 58.2 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{Vc} = \frac{3813.3}{24} = 158.9 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 3813.3 \times 7 = 26693 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 12 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.2115$

$$P_{lx}^M = \frac{26693}{178.6} \times 0.2115 = 31.6 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(58.2 + 31.6)^2 + 158.9^2} = 182.5 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.3.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1.7 \text{ cm}$, $l = 115 - 2 \times 1.7 = 111.6 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1.7 \times 111.6 = 379.4 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1.7 \times 111.6^2}{6} = 7057.5 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 73 \text{ kN}$$

$$P_v = 798.5 + 73 = 871.5 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 50 \text{ kN}$$

$$P_H = 50 + 1397.4 = 1447.4 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 3813.3 + 871.5 = 4684.8 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1397.4 + 1447.4 = 2844.8 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 4684.8 \times 11.5 = 53874.6 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{4684.8}{379.4} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{2844.8}{379.4} + \frac{53874.6}{7057.5} = 15.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{12.3^2 + 15.1^2} = 19.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.3.4 Kirişı Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_r = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_o = 1.7 \times 0.86 \times 71 = 103.8 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 7 sıra, yatay olarak 6 sıra olmak üzere toplam 42 adet M16 konulursa;

$$P_{lx}^{P_H} = \frac{1447.4}{42} = 34.5 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{P_V} = \frac{871.5}{42} = 20.7 \text{ kN}$$

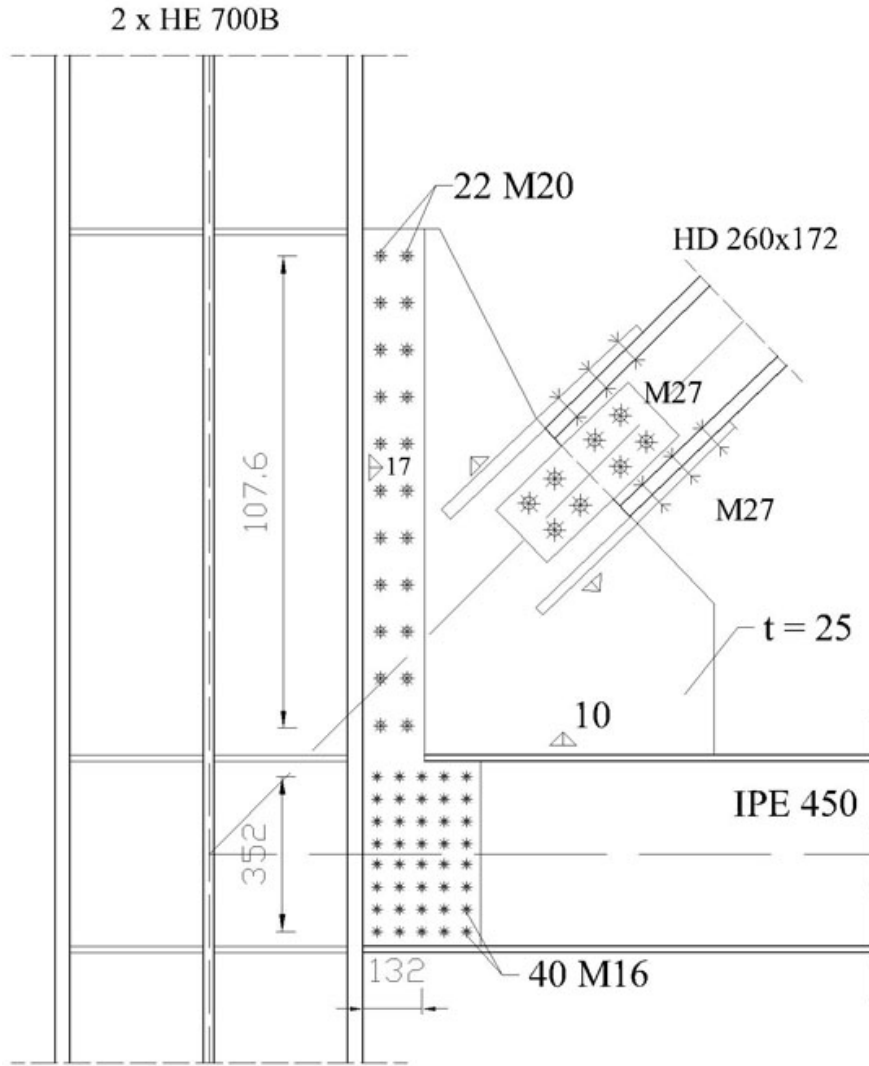
Dikey 7, yatay 6 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.102$

$$M = P_V \times e = 871.5 \times 17.6 = 15338 \text{ kNcm}$$

$$P_{lx}^M = \frac{15338}{24} \times 0.102 = 65.2 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(34.5 + 65.2)^2 + 20.7^2} = 101.8 \text{ kN} < P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.4 5. Normal Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.17: 5. Normal Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260x172 için; $h = 29$ cm, $b = 26.8$ cm, $t_f = 3.25$ cm, $t_w = 1.8$ cm, $A = 219.6$ cm²

2xHE 700B için; $h = 70$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3.2$ cm, $t_w = 1.7$ cm

IPE 450 için; $h = 45$ cm, $b = 19$ cm, $t_f = 1.46$ cm, $t_w = 0.94$ cm

$$e_b = 22.5 \text{ cm}, e_c = 35 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{3.3} = 0.909$$

$$\alpha - \beta \times 0.909 = 22.5 \times 0.909 - 35 \Rightarrow \alpha = 0.909 \times \beta - 9.3 \quad (4.15)$$

$\alpha = 40$ ve $\beta = 60$ cm alınırsa;

$$r = \sqrt{(40+35)^2 + (60+22.5)^2} = 111.5 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{60}{111.5} = 3354.1 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{35}{111.5} = 1956.3 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{40}{111.5} = 2235.8 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{22.5}{111.5} = 1257.6 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.4.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 60 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (60 - 2 \times 1) = 116 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{2235.8}{116} = 19.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{1257.6}{116} = 10.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{19.3^2 + 10.8^2} = 22.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.4.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_{\tau} = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma} = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 11 sıra olmak üzere toplam 22 adet M20 konulursa;

$$P_{1x}^{Hc} = \frac{1956.3}{22} = 88.9 \text{ kN}$$

$$P_{1y}^{Vc} = \frac{3354.1}{22} = 152.5 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 3354.1 \times 7 = 23478.7 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 11 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.2275$

$$P_{1x}^M = \frac{23478.7}{107.6} \times 0.2275 = 49.6 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(88.9 + 49.6)^2 + 152.5^2} = 206 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.4.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1.7 \text{ cm}$, $l = 115 - 2 \times 1.7 = 111.6 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1.7 \times 111.6 = 379.4 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1.7 \times 111.6^2}{6} = 7057.5 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 74 \text{ kN}$$

$$P_V = 1257.6 + 74 = 1331.6 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 47 \text{ kN}$$

$$P_H = 47 + 1956.3 = 2003.3 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 3354.1 + 1331.6 = 4685.7 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1956.3 + 2003.3 = 3959.6 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 4685.7 \times 13.2 = 17577.4 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{4685.7}{379.4} = 12.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{3959.6}{379.4} + \frac{17577.4}{7057.5} = 18.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{12.3^2 + 18.1^2} = 21.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.4.4 Kirişı Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_o = 1.7 \times 0.94 \times 71 = 113.5 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 113.5 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 5 sıra, yatay olarak 8 sıra olmak üzere toplam 40 adet M16 konulursa;

$$P_{1x}^{P_H} = \frac{2003.3}{40} = 50.1 \text{ kN}$$

$$P_{1y}^{P_V} = \frac{1331.6}{40} = 33.3 \text{ kN}$$

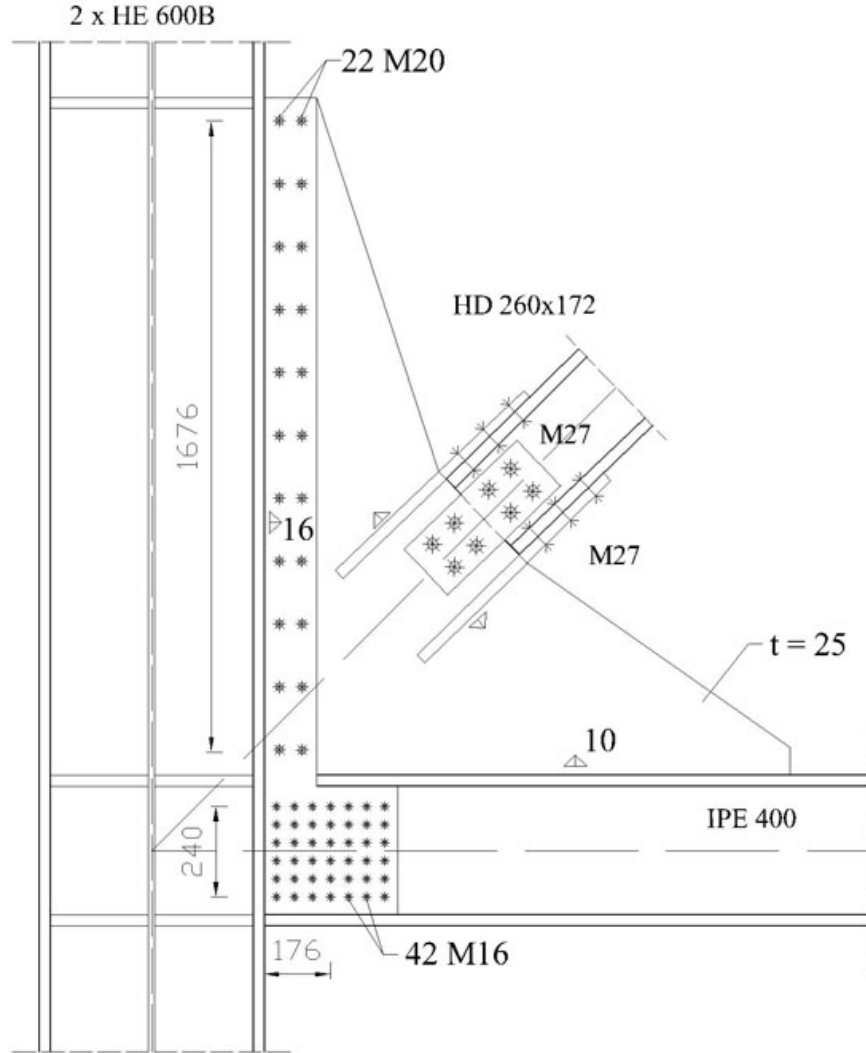
Dikey 5, yatay 8 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.1166$

$$M = P_V \times e = 1331.6 \times 13.2 = 17577.4 \text{ kNcm}$$

$$P_{lx}^M = \frac{17577.4}{35.2} \times 0.1166 = 58.2 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(50.1 + 58.2)^2 + 33.3^2} = 113.3 \text{ kN} < P_{em} = 113.5 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.5 10. Normal Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.18: 10. Normal Kattaki ve X Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260x172 için; h = 29 cm, b = 26.8 cm, t_f = 3.25 cm, t_w = 1.8 cm, A = 219.6 cm²

2xHE 600B için; h = 60 cm, b = 30 cm, t_f = 3 cm, t_w = 1.55 cm

IPE 400 için; h = 40 cm, b = 18 cm, t_f = 1.35 cm, t_w = 0.86 cm

$$e_b = 20 \text{ cm}, e_c = 30 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{3.3} = 0.909$$

$$\alpha - \beta \times 0.909 = 20 \times 0.909 - 30 \Rightarrow \alpha = 0.909 \times \beta - 11.82 \quad (4.15)$$

$\alpha = 70$ ve $\beta = 90$ cm alınırsa;

$$r = \sqrt{(70+30)^2 + (90+20)^2} = 148.7 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{90}{148.7} = 3773.3 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{30}{148.7} = 1257.6 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{70}{148.7} = 2934.5 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{20}{148.7} = 838.4 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.5.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 75 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (75 - 2 \times 1) = 146 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{2934.5}{146} = 20.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{838.4}{146} = 5.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{20.1^2 + 5.7^2} = 20.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.5.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_r = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_g = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 11 sıra olmak üzere toplam 22 adet M20 konulursa;

$$P_{lx}^{Hc} = \frac{1257.6}{22} = 57 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{Vc} = \frac{3773.3}{22} = 171.5 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 3773.3 \times 7 = 26413 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 11 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.2275$

$$P_{lx}^M = \frac{26413}{167.6} \times 0.2275 = 35.8 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(57 + 35.8)^2 + 171.5^2} = 195 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.5.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1.6 \text{ cm}$, $l = 110 - 2 \times 1.6 = 106.8 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1.6 \times 106.8 = 341.7 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1.6 \times 106.8^2}{6} = 6083.3 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 58 \text{ kN}$$

$$P_v = 838.4 + 58 = 896.4 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 42 \text{ kN}$$

$$P_H = 42 + 1257.6 = 1299.6 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 3773.3 + 896.4 = 4669.7 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1257.6 + 1299.6 = 2557.3 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 4669.7 \times 11.5 = 53702.2 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{4669.7}{341.7} = 13.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{2557.3}{341.7} + \frac{53702.2}{6083.3} = 16.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{13.6^2 + 16.3^2} = 21.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.5.4 Kirişı Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_\tau = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 1.7 \times 0.86 \times 71 = 103.8 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 7 sıra, yatay olarak 6 sıra olmak üzere toplam 42 adet M16 konulursa;

$$P_{1x}^{P_H} = \frac{1299.6}{42} = 30.9 \text{ kN}$$

$$P_{1y}^{P_v} = \frac{896.4}{42} = 21.3 \text{ kN}$$

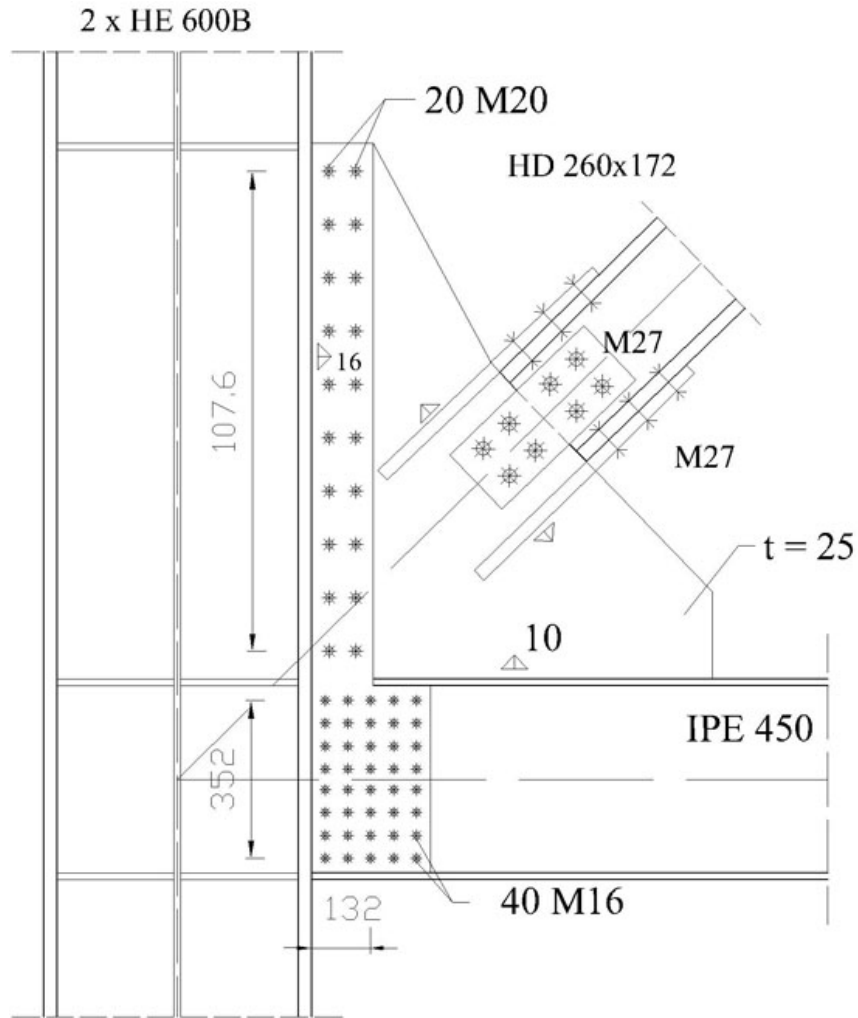
Dikey 7, yatay 6 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.102$

$$M = P_v \times e = 896.4 \times 17.6 = 15776.9 \text{ kNcm}$$

$$P_{1x}^M = \frac{15776.9}{24} \times 0.102 = 67.1 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(30.9 + 67.1)^2 + 21.3^2} = 100.3 \text{ kN} < P_{em} = 103.8 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.6 10. Normal Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Hesabı



Şekil 4.19: 10. Normal Kattaki ve Y Doğrultusundaki Çaprazların Bağlantı Detayı

HD 260×172 için; h = 29 cm, b = 26.8 cm, t_f = 3.25 cm, t_w = 1.8 cm, A = 219.6 cm²

2×HE 600B için; h = 60 cm, b = 30 cm, t_f = 3 cm, t_w = 1.55 cm

IPE 450 için; h = 45 cm, b = 19 cm, t_f = 1.46 cm, t_w = 0.94 cm

$$e_b = 22.5 \text{ cm}, e_c = 30 \text{ cm}, \tan \theta = \frac{3}{3.3} = 0.909$$

$$\alpha - \beta \times 0.909 = 22.5 \times 0.909 - 30 \Rightarrow \alpha = 0.909 \times \beta - 9.54 \quad (4.15)$$

$\alpha = 45$ ve $\beta = 60$ cm alınır;

$$r = \sqrt{(45 + 30)^2 + (60 + 22.5)^2} = 111.5 \text{ cm} \quad (4.16)$$

$$P = A \times \sigma_a = (219.6 - 4 \times 2.8 \times 3.25 - 2 \times 2.8 \times 1.8) \times 36 = 6232 \text{ kN}$$

$$V_c = 6232 \times \frac{60}{111.5} = 3354.1 \text{ kN} \quad (4.17)$$

$$H_c = 6232 \times \frac{30}{111.5} = 1676.8 \text{ kN} \quad (4.18)$$

$$H_b = 6232 \times \frac{45}{111.5} = 2515.2 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$V_b = 6232 \times \frac{22.5}{111.5} = 1257.6 \text{ kN} \quad (4.20)$$

4.6.6.1 Guse Levhasını Kirişe Birleştiren Köşe Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, a = 1 cm, l = 70 cm

$$F_k = 2 \times 1 \times (70 - 2 \times 1) = 136 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{2515.2}{136} = 18.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{1257.6}{136} = 9.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{18.5^2 + 9.3^2} = 20.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.6.2 Guse Levhasını Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 2.5} - 0.2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{M30 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M20

$$m = 2$$

$$P_r = 2 \times \frac{\pi \times 2.1^2}{4} \times 32 = 221 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_\sigma = 2.1 \times 2.5 \times 71 = 372 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 2 sıra, yatay olarak 10 sıra olmak üzere toplam 20 adet M20 konulursa;

$$P_{lx}^{Hc} = \frac{1676.8}{20} = 83.8 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{Vc} = \frac{3354.1}{20} = 167.7 \text{ kN}$$

$$M = V_c \times e = 3354.1 \times 7 = 23478.7 \text{ kNcm}$$

Dikey 2, yatay 6 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.2455$

$$P_{lx}^M = \frac{23478.7}{107.6} \times 0.2455 = 53.6 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(83.8 + 53.6)^2 + 167.7^2} = 216.8 \text{ kN} < P_{em} = 221 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.6.6.3 Levhayı Kolona Birleştiren Kaynak Dikişlerinin Hesabı

Seçilen elektrod tipi: E8016 – C1, $a = 1.6 \text{ cm}$, $l = 115 - 2 \times 1.6 = 111.8 \text{ cm}$

$$F_k = 2 \times 1.6 \times 111.8 = 357.7 \text{ cm}^2$$

$$W_k = 2 \times \frac{1.6 \times 111.8^2}{6} = 6666.3 \text{ cm}^3$$

$$R_b = 58 \text{ kN}$$

$$P_v = 1257.6 + 58 = 1315.6 \text{ kN} \quad (4.21)$$

$$A_b = 39 \text{ kN}$$

$$P_H = 39 + 1676.8 = 1715.8 \text{ kN} \quad (4.24)$$

$$V = 3354.1 + 1315.6 = 4669.7 \text{ kN} \quad (4.22)$$

$$H = 1676.8 + 1715.8 = 3392.7 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$M = V \times e = 4669.7 \times 13.2 = 17366.2 \text{ kNcm}$$

$$\tau_k = \frac{4669.7}{357.7} = 13.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{3392.7}{357.7} + \frac{17366.2}{6666.3} = 17.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{13.1^2 + 17.5^2} = 21.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 22.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{uygun})$$

4.6.6.4 Kirişı Kolona Birleştiren Bulonların Hesabı

$$d_1 = \sqrt{5 \times 0.86} - 0.2 = 1.87 \text{ cm} \Rightarrow \text{M16 bulon kullanılabilir} \quad (4.9)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M16

$$m = 2$$

$$P_r = 2 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 32 = 145.3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$P_o = 1.7 \times 0.94 \times 71 = 113.5 \text{ kN} \quad (4.11)$$

$$P_{em} = 113.5 \text{ kN} \quad (4.12)$$

Dikey olarak 5 sıra, yatay olarak 8 sıra olmak üzere toplam 40 adet M16 konulursa;

$$P_{lx}^{P_H} = \frac{1715.8}{40} = 42.9 \text{ kN}$$

$$P_{ly}^{P_V} = \frac{1315.6}{40} = 32.9 \text{ kN}$$

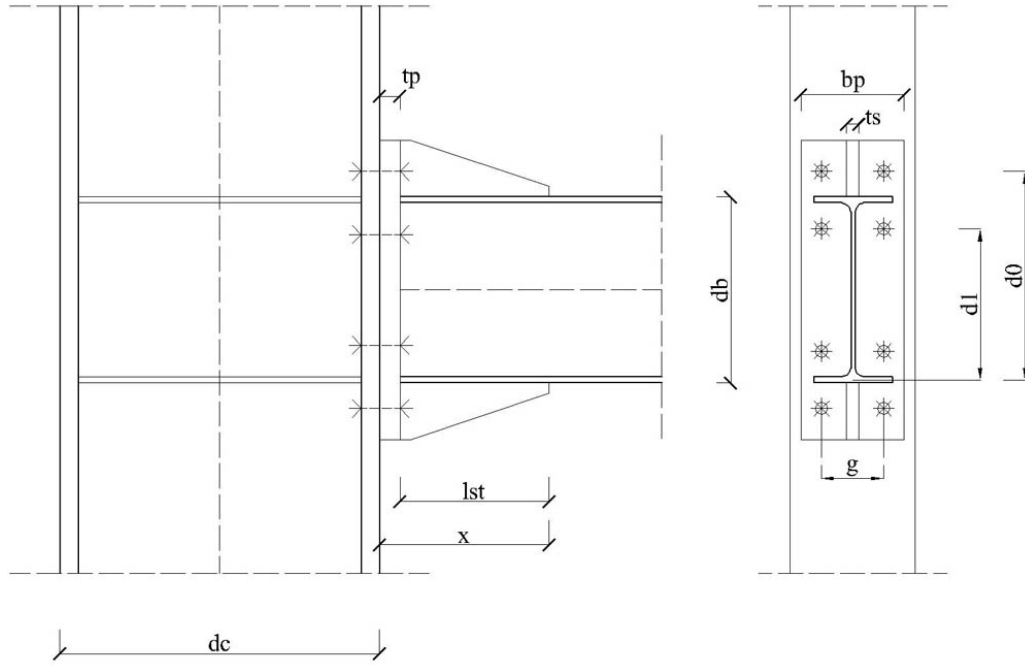
Dikey 5, yatay 8 sıra bulon dizilimi için; $f = 0.1166$

$$M = P_V \times e = 1315.6 \times 13.2 = 17366.2 \text{ kNcm}$$

$$P_{lx}^M = \frac{17366.2}{35.2} \times 0.1166 = 57.5 \text{ kN}$$

$$P_T = \sqrt{(42.9 + 57.5)^2 + 32.9^2} = 105.7 \text{ kN} < P_{em} = 113.5 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4.7 Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.20: Kolon Kiriş Birleşim Detayı

$$S_h = \frac{d_c}{2} + t_p + l_{st} \quad (4.25)$$

$$l' = 1 - 2 \times S_h \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times M_{pr}}{l'} \quad (4.27)$$

$$M_f = M_{pr} + V_p \times x \quad (4.28)$$

$$M_c = M_{pr} + V_p \times \left(x + \frac{d_c}{2} \right) \quad (4.29)$$

$$M_f < 3.4 \times T_{ub} < (d_0 + d_1) \quad (4.30)$$

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d_b - t_{bf}} \quad (4.31)$$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times P_f^{0.591} \times F_{fu}^{2.583}}{t_p^{0.895} \times d_b^{1.909} \times t_s^{0.327} \times b_p^{0.965}} + P_v \quad (4.32)$$

$$A_b > \frac{\frac{2 \times M_f}{1 - d_c} + V_g}{n \times \tau_{sem}} \quad (4.33)$$

$$t_p > \frac{0.0386428 \times P_f^{0.9} \times g^{0.6} \times F_{fu}}{d_b^{0.9} \times t_s^{0.1} \times b_p^{0.7}} \quad (4.34a)$$

$$t_p > \frac{0.047451 \times P_f^{0.25} \times g^{0.15} \times F_{fu}}{d_b^{0.7} \times t_s^{0.15} \times b_p^{0.3}} \quad (4.34b)$$

$$k_1 = \frac{t_{wb}}{2} + r_b \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{g}{2} - k_1 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{b_{cf} - g}{2} \quad (4.37)$$

$$c = \frac{g}{2} + 0.16 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = \sqrt{\frac{\frac{M_f}{(d_b - t_{bf})} \times c_1}{2 \times \sigma_{yc} \times c}} \quad (4.39)$$

$$t_{cf} > \sqrt{\frac{\frac{M_f}{2 \times (d_b - t_{bf})}}{0.8 \times \sigma_{yc} \times Y_c}} \quad (4.40)$$

$$Y_c = \left(\frac{c}{2} + s \right) \times \left(\frac{1}{c_2 + c_1} \right) + (c_2 + c_1) \times \left(\frac{4}{c} + \frac{2}{s} \right) \quad (4.41)$$

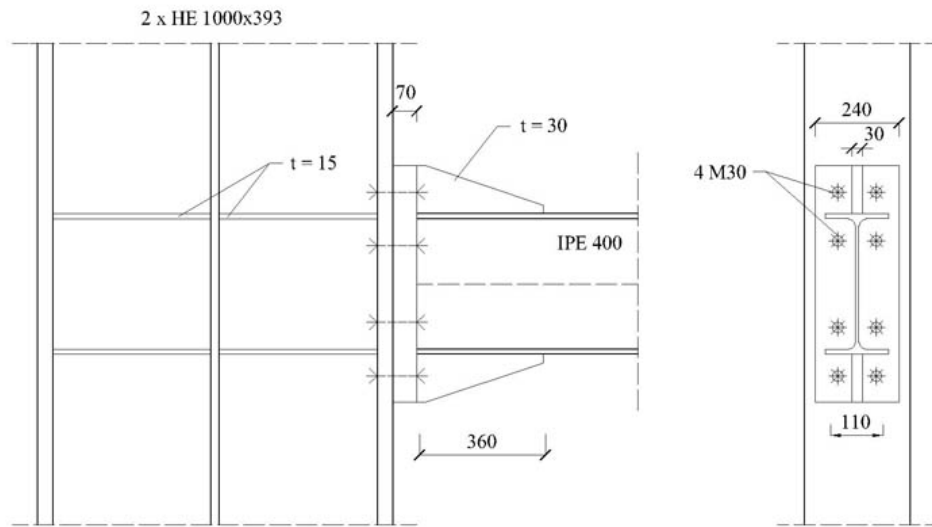
$$s = \sqrt{\frac{c_1 \times c_2}{c_2 + 2 \times c_1} \times (2 \times b_{cf} \times 4 \times k_1)} \quad (4.42)$$

$$t_{cf} > \frac{M_f}{(d_b - t_{bf}) \times (6 \times k + 2 \times t_{pl} + t_{bf}) \times \sigma_{yc}} \quad (4.43)$$

$$k = t_{cf} + r_c \quad (4.43a)$$

$$V_n = 0.55 \times \sigma_y \times d_c \times t_p \times \left[1 + \frac{3 \times b_{cf} \times t_{cf}^2}{d_b \times d_c \times t_p} \right] \quad (4.44)$$

4.7.1 Zemin Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.21: Zemin Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 1000x393 için; h = 101.6 cm, b = 30.3 cm, t_f = 4.39 cm, t_w = 2.44 cm, r = 3 cm

Kiriş kesiti kompozit IPE 400 için; h = 40 cm, b = 18 cm, t_f = 1.35 cm, t_w = 0.86 cm, r = 2.1 cm

$$M_{pr} = 74573.2 \text{ kNcm}$$

4.7.1.1 Bulon Hesabı

t_p = 7 cm, l_{st} = 36 cm, t_s = 3 cm, b_p = 24 cm alınır;

$$S_h = \frac{101.6}{2} + 7 + 36 = 93.8 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 93.8 = 612.4 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 74573.2}{612.4} = 243.5 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 74573.2 + 243.5 \times (36 + 7) = 85045.6 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 74573.2 + 243.5 \times 93.8 = 97417.6 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 40 - 0.5 \times 1.35 + 6 = 45.3 \text{ cm}$$

$$d_l = 40 - 0.5 \times 1.35 - 1.35 - 6 - 3 \times 3 = 22.9 \text{ cm}$$

$$T_{ub} = 100 \times \frac{\pi \times (0.86 \times 3)^2}{4} = 522.5 \text{ kN}$$

$$M_f = 85045.6 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} \times (45.3 + 22.9) \quad (4.30)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 366 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{85045.6}{40 - 1.35} = 2200 \text{ kN} = 220 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için öngerilme kuvveti; $P_v = 350$ kN

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 220^{2.583}}{7^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 24^{0.965}} + 350 = 46.5 + 350 = 396.5 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 396.5 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\Pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 85045.6}{4 \times 32} = 1.9 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \quad (\text{uygun})$$

4.7.1.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 220}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 24^{0.7}} = 6.29 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 220}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 24^{0.3}} = 3.47 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.1.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.86}{2} + 2.1 = 2.53 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.53 = 2.97 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30.3 - 11}{2} = 9.65 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \sqrt{\frac{\frac{85045.6}{(40 - 1.35)} \times 2.97}{2 \times 36 \times 5.66}} = 4 \text{ cm} \quad (4.39) \quad (\text{uygun})$$

$$s = \sqrt{\frac{2.97 \times 9.65}{9.65 + 2 \times 2.97}} \times (2 \times 30.3 \times 4 \times 2.53) = 33.5 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.5 \right) \times \left(\frac{1}{9.65 + 2.97} \right) + (9.65 + 2.97) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.5} \right) = 12.5 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \sqrt{\frac{85045.6}{\frac{2 \times (40 - 1.35)}{0.8 \times 36 \times 12.5}}} = 1.74 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 4.39 + 3 = 7.39 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \frac{85045.6}{(40 - 1.35) \times (6 \times 7.39 + 2 \times 6 + 1.35) \times 36} = 1.02 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı yeterlidir

4.7.1.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

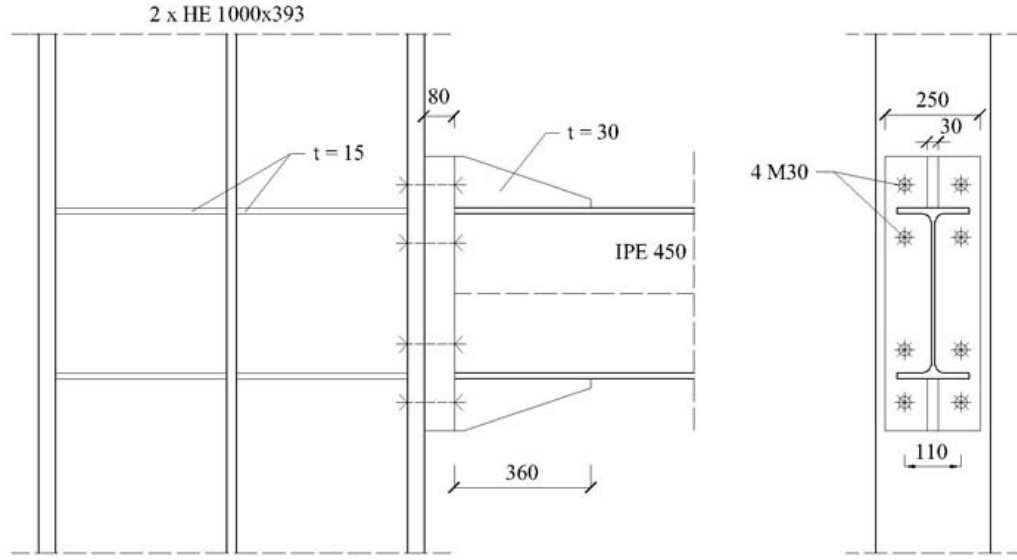
$$V_n = 0.55 \times 36 \times 101.6 \times 2.44 \times \left[1 + \frac{3 \times 30.3 \times 4.39^2}{40 \times 101.6 \times 2.44} \right] = 5775 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{85045.6}{40} = 2126 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{85045.6}{101.6} = 837 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 5775 \text{ kN} > T_1 = 2126 \text{ kN} \\ V_n = 5775 \text{ kN} > T_2 = 837 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

4.7.2 Zemin Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.22: Zemin Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 1000x393 için; $h = 101.6$ cm, $b = 30.3$ cm, $t_f = 4.39$ cm, $t_w = 2.44$ cm

Kiriş kesiti kompozit IPE 450 için; $h = 45$ cm, $b = 19$ cm, $t_f = 1.46$ cm, $t_w = 0.94$ cm

$$M_{pr} = 100825 \text{ kNcm}$$

4.7.2.1 Bulon Hesabı

$t_p = 8$ cm, $l_{st} = 36$ cm, $t_s = 3$ cm, $b_p = 25$ cm alınırsa;

$$S_h = \frac{101.6}{2} + 8 + 36 = 94.8 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 94.8 = 610.4 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 100825}{610.4} = 330.3 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 100825 + 330.3 \times (36 + 8) = 115360.7 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 100825 + 330.3 \times 94.8 = 132142.9 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 45 - 0.5 \times 1.46 + 6 = 50.27 \text{ cm}$$

$$d_l = 45 - 0.5 \times 1.46 - 1.46 - 6 - 3 \times 3 = 27.81 \text{ cm}$$

$$M_f = 115360.7 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} < (50.27 + 27.81)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 434.5 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{115360.7}{45 - 1.46} = 2649 \text{ kN} = 264.9 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için önerilme kuvveti; $P_v = 350 \text{ kN}$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 264.9^{2.583}}{8^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 25^{0.965}} + 350 = 64.4 + 350 = 414.4 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 414.4 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\Pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 115360.7}{\frac{800 - 101.6}{4 \times 32}} = 2.58 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \quad (\text{uygun})$$

4.7.2.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 8 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 264.9}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 25^{0.7}} = 7.36 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 8 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 264.9}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 25^{0.3}} = 4.12 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.2.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.94}{2} + 2.1 = 2.57 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.57 = 2.93 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30.3 - 11}{2} = 9.65 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \sqrt{\frac{\frac{115360.7}{(45 - 1.46)} \times 2.93}{2 \times 36 \times 5.66}} = 4.36 \text{ cm} \quad (4.39) \text{ (uygun)}$$

$$s = \sqrt{\frac{2.93 \times 9.65}{9.65 + 2 \times 2.93}} \times (2 \times 30.3 \times 4 \times 2.57) = 33.7 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.7 \right) \times \left(\frac{1}{9.65 + 2.93} \right) + (9.65 + 2.93) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.7} \right) = 12.5 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \sqrt{\frac{\frac{115360.7}{2 \times (45 - 1.46)}}{0.8 \times 36 \times 12.5}} = 1.91 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 4.39 + 3 = 7.39 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 4.39 \text{ cm} > \frac{115360.7}{(45 - 1.46) \times (6 \times 7.39 + 2 \times 8 + 1.46) \times 36} = 1.19 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı yeterlidir

4.7.2.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

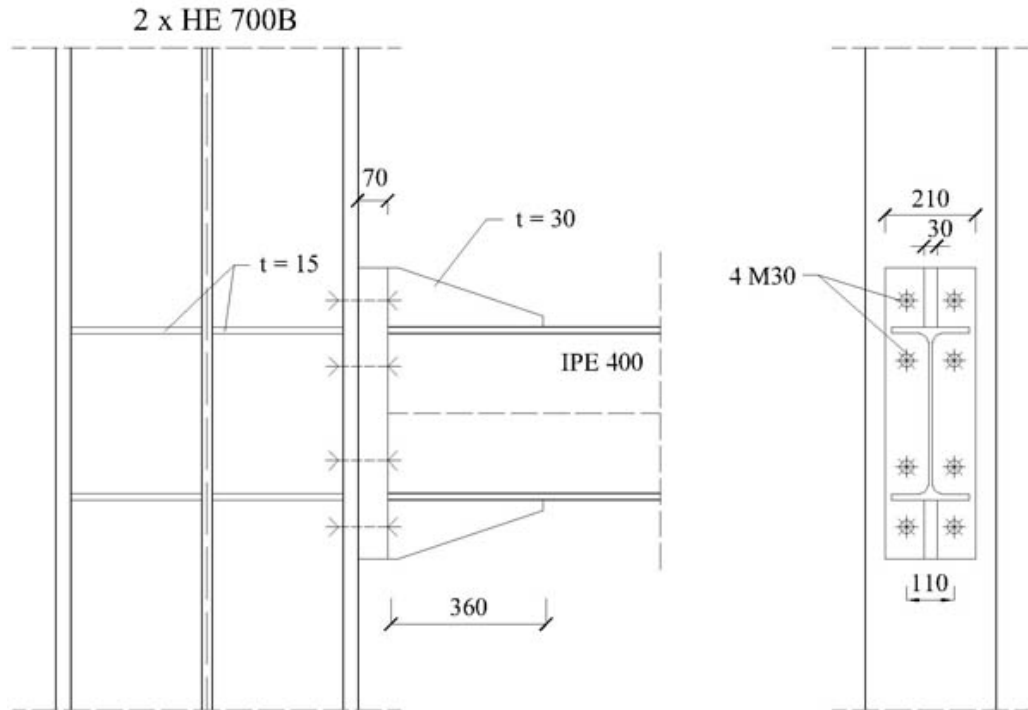
$$V_n = 0.55 \times 36 \times 101.6 \times 2.44 \times \left[1 + \frac{3 \times 30.3 \times 4.39^2}{45 \times 101.6 \times 2.44} \right] = 5679 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{115360.7}{45} = 2563.5 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{115360.7}{101.6} = 1135.4 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 5679 \text{ kN} > T_1 = 2563.5 \text{ kN} \\ V_n = 5679 \text{ kN} > T_2 = 1135.4 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

4.7.3 5. Normal Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.23: 5. Normal Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 700B için; $h = 70 \text{ cm}$, $b = 30 \text{ cm}$, $t_f = 3.2 \text{ cm}$, $t_w = 1.7 \text{ cm}$, $r = 2.7 \text{ cm}$

Kiriş kesiti kompozit IPE 400 için; $h = 40 \text{ cm}$, $b = 18 \text{ cm}$, $t_f = 1.35 \text{ cm}$, $t_w = 0.86 \text{ cm}$, $r = 2.1 \text{ cm}$

$$M_{pr} = 74573.2 \text{ kNcm}$$

4.7.3.1 Bulon Hesabı

$t_p = 7 \text{ cm}$, $l_{st} = 36 \text{ cm}$, $t_s = 3 \text{ cm}$, $b_p = 21 \text{ cm}$ alınırsa;

$$S_h = \frac{70}{2} + 7 + 36 = 78 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 78 = 644 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 74573.2}{644} = 231.5 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 74573.2 + 231.5 \times (36 + 7) = 84531.7 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 74573.2 + 231.5 \times 78 = 92637.5 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 40 - 0.5 \times 1.35 + 6 = 45.3 \text{ cm}$$

$$d_l = 40 - 0.5 \times 1.35 - 1.35 - 6 - 3 \times 3 = 22.9 \text{ cm}$$

$$T_{ub} = 100 \times \frac{\pi \times (0.86 \times 3)^2}{4} = 522.5 \text{ kN}$$

$$M_f = 84531.7 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} \times (45.3 + 22.9) \quad (4.30)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 364 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{84531.7}{40 - 1.35} = 2187 \text{ kN} = 218.7 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için öngerilme kuvveti; $P_v = 350 \text{ kN}$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 218.7^{2.583}}{7^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 21^{0.965}} + 350 = 52 + 350 = 402 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 402 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\Pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 84531.7}{4 \times 32} = 1.8 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \text{ (uygun)}$$

4.7.3.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 218.7}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 21^{0.7}} = 6.86 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 218.7}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 21^{0.3}} = 3.59 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.3.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.86}{2} + 2.1 = 2.53 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.53 = 2.97 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30 - 11}{2} = 9.5 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} < \sqrt{\frac{84531.7}{(40 - 1.35)} \times 2.97} = 4 \text{ cm} \Rightarrow \text{Süreklilik levhaları gereklidir} \quad (4.39)$$

$$s = \sqrt{\frac{2.97 \times 9.5}{9.5 + 2 \times 2.97}} \times (2 \times 30 \times 4 \times 2.53) = 33.3 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.3 \right) \times \left(\frac{1}{9.5 + 2.97} \right) + (9.5 + 2.97) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.3} \right) = 12.46 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} > \sqrt{\frac{84531.7}{\frac{2 \times (40 - 1.35)}{0.8 \times 36 \times 12.46}}} = 1.74 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 3.2 + 2.7 = 5.9 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} > \frac{84531.7}{(40 - 1.35) \times (6 \times 5.9 + 2 \times 7 + 1.35) \times 36} = 1.2 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı ve süreklilik levhaları yeterlidir

4.7.3.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

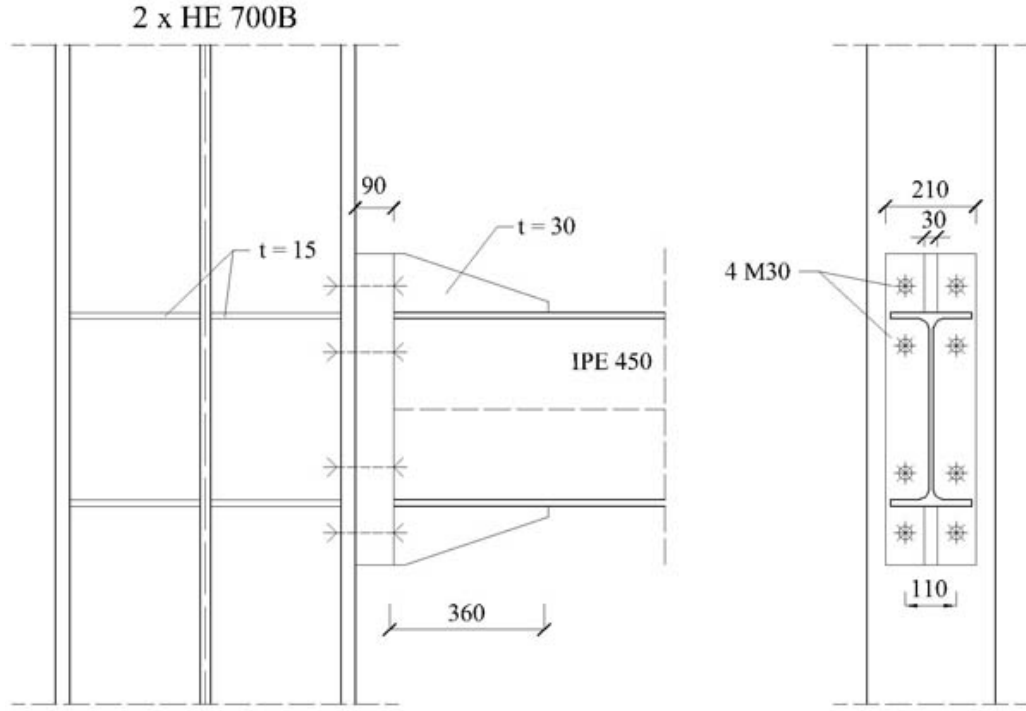
$$V_n = 0.55 \times 36 \times 70 \times 1.7 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 3.2^2}{40 \times 70 \times 1.7} \right] = 3370 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{84531.7}{40} = 2113 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{84531.7}{70} = 1207 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 3370 \text{ kN} > T_1 = 2113 \text{ kN} \\ V_n = 3370 \text{ kN} > T_2 = 1207 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

4.7.4 5. Normal Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.24: 5. Normal Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 700B için; $h = 70$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3.2$ cm, $t_w = 1.7$ cm, $r = 2.7$ cm

Kiriş kesiti kompozit IPE 450 için; $h = 45$ cm, $b = 19$ cm, $t_f = 1.46$ cm, $t_w = 0.94$ cm

$$M_{pr} = 100825 \text{ kNcm}$$

4.7.4.1 Bulon Hesabı

$t_p = 9$ cm, $l_{st} = 36$ cm, $t_s = 3$ cm, $b_p = 21$ cm alınırsa;

$$S_h = \frac{70}{2} + 9 + 36 = 80 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 80 = 640 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 100825}{640} = 315.1 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 100825 + 315.1 \times (36 + 9) = 115003.5 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 100825 + 315.1 \times 80 = 126031 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 45 - 0.5 \times 1.46 + 6 = 50.27 \text{ cm}$$

$$d_l = 45 - 0.5 \times 1.46 - 1.46 - 6 - 3 \times 3 = 27.81 \text{ cm}$$

$$M_f = 115003.5 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} < (50.27 + 27.81)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 433.2 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{115003.5}{45 - 1.46} = 2641 \text{ kN} = 264.1 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için öngerilme kuvveti; $P_v = 350 \text{ kN}$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 264.1^{2.583}}{9^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 21^{0.965}} + 350 = 67.7 + 350 = 417.7 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 417.7 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\Pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 115003.5}{800 - 70} = 2.46 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \quad (\text{uygun})$$

4.7.4.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 9 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 264.1}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 21^{0.7}} = 8.3 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 9 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 264.1}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 21^{0.3}} = 4.3 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.4.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.94}{2} + 2.1 = 2.57 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.57 = 2.93 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30 - 11}{2} = 9.5 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} < \sqrt{\frac{\frac{115003.5}{(45 - 1.46)} \times 2.93}{2 \times 36 \times 5.66}} = 4.36 \text{ cm} \Rightarrow \text{Süreklilik levhaları gereklidir} \quad (4.39)$$

$$s = \sqrt{\frac{2.93 \times 9.5}{9.5 + 2 \times 2.93}} \times (2 \times 30 \times 4 \times 2.57) = 33.4 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.4 \right) \times \left(\frac{1}{9.5 + 2.93} \right) + (9.5 + 2.93) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.4} \right) = 12.45 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} > \sqrt{\frac{\frac{115003.5}{2 \times (45 - 1.46)}}{0.8 \times 36 \times 12.45}} = 1.92 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 3.2 + 2.7 = 5.9 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} > \frac{115003.5}{(45 - 1.46) \times (6 \times 5.9 + 2 \times 9 + 1.46) \times 36} = 1.33 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı ve süreklilik levhaları yeterlidir

4.7.4.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

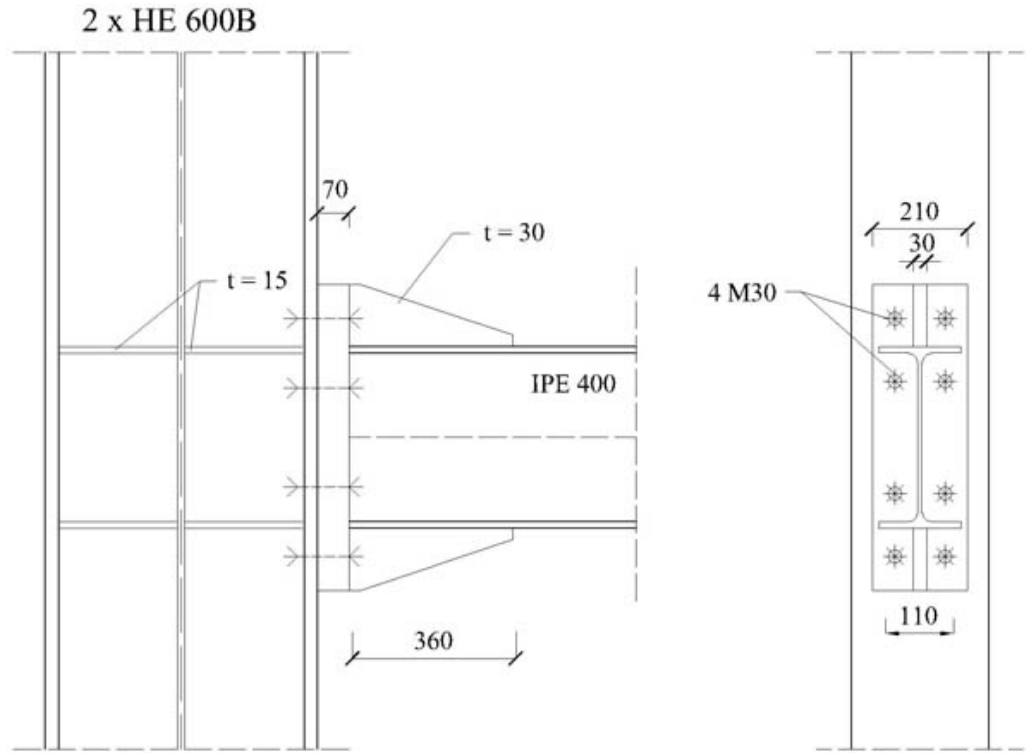
$$V_n = 0.55 \times 36 \times 70 \times 1.7 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 3.2^2}{45 \times 70 \times 1.7} \right] = 3316 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{115003.5}{45} = 2555.6 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{115003.5}{70} = 1643 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 3316 \text{ kN} > T_1 = 2555.6 \text{ kN} \\ V_n = 3316 \text{ kN} > T_2 = 1643 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

4.7.5 10. Normal Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.25: 10. Normal Kat X Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 600B için; $h = 60 \text{ cm}$, $b = 30 \text{ cm}$, $t_f = 3 \text{ cm}$, $t_w = 1.55 \text{ cm}$, $r = 2.7 \text{ cm}$

Kiriş kesiti kompozit IPE 400 için; $h = 40 \text{ cm}$, $b = 18 \text{ cm}$, $t_f = 1.35 \text{ cm}$, $t_w = 0.86 \text{ cm}$, $r = 2.1 \text{ cm}$

$$M_{pr} = 74573.2 \text{ kNcm}$$

4.7.5.1 Bulon Hesabı

$t_p = 7 \text{ cm}$, $l_{st} = 36 \text{ cm}$, $t_s = 3 \text{ cm}$, $b_p = 21 \text{ cm}$ alınırsa;

$$S_h = \frac{60}{2} + 7 + 36 = 73 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 73 = 654 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 74573.2}{654} = 228.1 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 74573.2 + 228.1 \times (36 + 7) = 84379.5 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 74573.2 + 228.1 \times 73 = 91221 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 40 - 0.5 \times 1.35 + 6 = 45.3 \text{ cm}$$

$$d_l = 40 - 0.5 \times 1.35 - 1.35 - 6 - 3 \times 3 = 22.9 \text{ cm}$$

$$T_{ub} = 100 \times \frac{\pi \times (0.86 \times 3)^2}{4} = 522.5 \text{ kN}$$

$$M_f = 84379.5 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} \times (45.3 + 22.9) \quad (4.30)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 363.4 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{84379.5}{40 - 1.35} = 2183 \text{ kN} = 218.3 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için öngerilme kuvveti; $P_v = 350 \text{ kN}$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 218.3^{2.583}}{7^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 21^{0.965}} + 350 = 52 + 350 = 402 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 402 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 84379.5}{4 \times 32} = 1.78 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \quad (\text{uygun})$$

4.7.5.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 218.3}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 21^{0.7}} = 6.85 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 7 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 218.3}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 21^{0.3}} = 3.58 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.5.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.86}{2} + 2.1 = 2.53 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.53 = 2.97 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30 - 11}{2} = 9.5 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 3 \text{ cm} < \sqrt{\frac{84379.5}{(40 - 1.35)} \times 2.97} = 4 \text{ cm} \Rightarrow \text{Süreklilik levhaları gereklidir} \quad (4.39)$$

$$s = \sqrt{\frac{2.97 \times 9.5}{9.5 + 2 \times 2.97}} \times (2 \times 30 \times 4 \times 2.53) = 33.3 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.3 \right) \times \left(\frac{1}{9.5 + 2.97} \right) + (9.5 + 2.97) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.3} \right) = 12.46 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 3 \text{ cm} > \sqrt{\frac{84379.5}{\frac{2 \times (40 - 1.35)}{0.8 \times 36 \times 12.46}}} = 1.74 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 3 + 2.7 = 5.7 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 3.2 \text{ cm} > \frac{84379.5}{(40 - 1.35) \times (6 \times 5.7 + 2 \times 7 + 1.35) \times 36} = 1.2 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı ve süreklilik levhaları yeterlidir

4.7.5.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

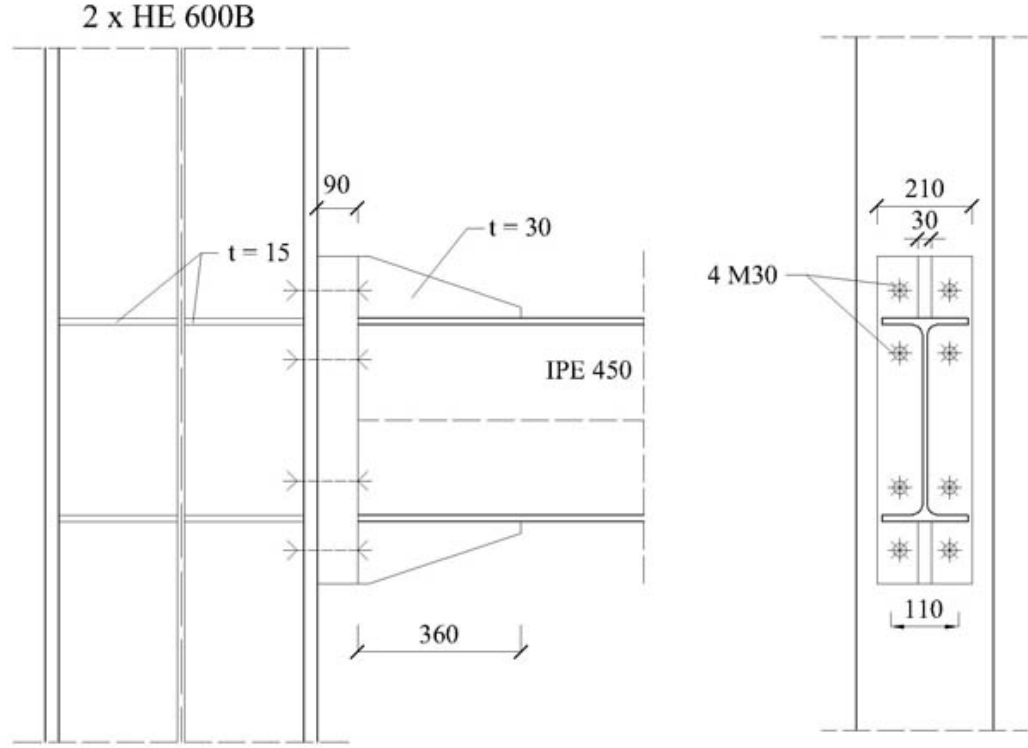
$$V_n = 0.55 \times 36 \times 60 \times 1.55 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 3^2}{40 \times 60 \times 1.55} \right] = 2732 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{84379.5}{40} = 2109.5 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{84379.5}{60} = 1406.3 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 2732 \text{ kN} > T_1 = 2109.5 \text{ kN} \\ V_n = 2732 \text{ kN} > T_2 = 1406.3 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

4.7.6 10. Normal Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Hesabı



Şekil 4.26: 10. Normal Kat Y Doğrultusu İçin Kolon Kiriş Birleşim Detayı

Kolon kesiti 2×HE 600B için; $h = 60$ cm, $b = 30$ cm, $t_f = 3$ cm, $t_w = 1.55$ cm, $r = 2.7$ cm

Kiriş kesiti kompozit IPE 450 için; $h = 45$ cm, $b = 19$ cm, $t_f = 1.46$ cm, $t_w = 0.94$ cm

$$M_{pr} = 100825 \text{ kNcm}$$

4.7.6.1 Bulon Hesabı

$t_p = 9$ cm, $l_{st} = 36$ cm, $t_s = 3$ cm, $b_p = 21$ cm alınırsa;

$$S_h = \frac{60}{2} + 9 + 36 = 75 \text{ cm} \quad (4.25)$$

$$l' = 800 - 2 \times 75 = 650 \text{ cm} \quad (4.26)$$

$$V_p = \frac{2 \times 100825}{650} = 310.2 \text{ kN} \quad (4.27)$$

$$M_f = 100825 + 310.2 \times (36 + 9) = 114785.4 \text{ kNcm} \quad (4.28)$$

$$M_c = 100825 + 310.2 \times 75 = 124092 \text{ kNcm} \quad (4.29)$$

Seçilen Bulon: SLP Tipi Öngerilmeli M30

$$P_t = 2 \times d = 2 \times 3 = 6 \text{ cm}$$

$$g = 11 \text{ cm}$$

$$d_o = 45 - 0.5 \times 1.46 + 6 = 50.27 \text{ cm}$$

$$d_l = 45 - 0.5 \times 1.46 - 1.46 - 6 - 3 \times 3 = 27.81 \text{ cm}$$

$$M_f = 114785.4 \text{ kNcm} < 3.4 \times T_{ub} < (50.27 + 27.81)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 432.4 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

$$F_{fu} = \frac{114785.4}{45 - 1.46} = 2636 \text{ kN} = 263.6 \text{ ton} \quad (4.31)$$

M30 için öngerilme kuvveti; $P_v = 350 \text{ kN}$

$$T_{ub} > \frac{0.0218529 \times 6^{0.591} \times 263.6^{2.583}}{9^{0.895} \times 3.1^{1.909} \times 3^{0.327} \times 21^{0.965}} + 350 = 67.4 + 350 = 417.4 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$T_{ub} = 522.5 \text{ kN} > 417.4 \text{ kN} \quad (\text{uygun})$$

4 Adet M30 bulon konulursa;

$$A_b = \frac{\Pi \times 3.1^2}{4} = 7.54 \text{ cm}^2 > \frac{2 \times 114785.4}{800 - 60} = 2.42 \text{ cm}^2 \quad (4.33) \quad (\text{uygun})$$

4.7.6.2 Alın Levhası Kalınlığı Hesabı

$$t_p = 9 \text{ cm} > \frac{0.0386428 \times 6^{0.9} \times 11^{0.6} \times 263.6}{3.1^{0.9} \times 3^{0.1} \times 21^{0.7}} = 8.3 \text{ cm} \quad (4.34a)$$

$$t_p = 9 \text{ cm} > \frac{0.047451 \times 6^{0.25} \times 11^{0.15} \times 263.6}{3.1^{0.7} \times 3^{0.15} \times 21^{0.3}} = 4.3 \text{ cm} \quad (4.34b)$$

Alın levhası kalınlığı yeterlidir

4.7.6.3 Kolon Başlık Kalınlığı Kontrolü

$$k_1 = \frac{0.94}{2} + 2.1 = 2.57 \quad (4.35)$$

$$c_1 = \frac{11}{2} - 2.57 = 2.93 \quad (4.36)$$

$$c_2 = \frac{30 - 11}{2} = 9.5 \quad (4.37)$$

$$c = \frac{11}{2} + 0.16 = 5.66 \quad (4.38)$$

$$t_{cf} = 3 \text{ cm} < \sqrt{\frac{\frac{114785.4}{(45 - 1.46)} \times 2.93}{2 \times 36 \times 5.66}} = 4.35 \text{ cm} \Rightarrow \text{Süreklilik levhaları gereklidir} \quad (4.39)$$

$$s = \sqrt{\frac{2.93 \times 9.5}{9.5 + 2 \times 2.93}} \times (2 \times 30 \times 4 \times 2.57) = 33.4 \quad (4.42)$$

$$Y_c = \left(\frac{5.66}{2} + 33.4 \right) \times \left(\frac{1}{9.5 + 2.93} \right) + (9.5 + 2.93) \times \left(\frac{4}{5.66} + \frac{2}{33.4} \right) = 12.45 \quad (4.41)$$

$$t_{cf} = 3 \text{ cm} > \sqrt{\frac{\frac{114785.4}{2 \times (45 - 1.46)}}{0.8 \times 36 \times 12.45}} = 1.92 \text{ cm} \quad (4.40) \text{ (uygun)}$$

$$k = 3 + 2.7 = 5.7 \text{ cm} \quad (4.43a)$$

$$t_{cf} = 3 \text{ cm} > \frac{114785.4}{(45 - 1.46) \times (6 \times 5.7 + 2 \times 9 + 1.46) \times 36} = 1.33 \text{ cm} \quad (4.43) \text{ (uygun)}$$

Kolon başlığı kalınlığı ve süreklilik levhaları yeterlidir

4.7.6.4 Kayma Bölgesi Gövde Takviye Levhası Hesabı

$$V_n = 0.55 \times 36 \times 60 \times 1.55 \times \left[1 + \frac{3 \times 30 \times 3^2}{45 \times 60 \times 1.55} \right] = 2685 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$T_1 = \frac{114785.4}{45} = 2551 \text{ kN}$$

$$T_2 = \frac{114785.4}{60} = 1913 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_n = 2685 \text{ kN} > T_1 = 2551 \text{ kN} \\ V_n = 2685 \text{ kN} > T_2 = 1913 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Kayma bölgesi gövde takviyesine gerek yoktur}$$

BÖLÜM 5 MALİYET VE SÜRE ANALİZİ

Bu bölümde mevcut betonarme yapının ve tasarlanan çelik yapının maliyet ve süre analizleri yapılmış, net kullanım alanlarına bağlı olarak aylık kira gelirleri hesaplanmış ve bu verilere göre iki yapı için de yatırımın geri dönüş hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalar sırasında asıl konu olan betonarme yapı ile çelik yapının karşılaştırılmasının kolaylaştırılması adına; inşaat maliyetlerinin enflasyondan etkilenmediği, kira gelirlerinin sabit olup yıllık artış olmadığı ve yatırım için herhangi bir finansman sorunu olmadığı, dolayısıyla yatırımcının finansmanı kendi öz kaynaklarından sağladığı ve herhangi bir kişi ya da kuruma faizle geri ödeme yapmak zorunda olmadığı kabul edilmiştir.

5.1 Maliyet Analizi

5.1.1 Mevcut Betonarme Yapı Metraji

5.1.1.1 Beton Metraji

KISIM	MİKTAR (m ³)
Temel	3500
Bodrum Perdeleri	1200
Döşemeler	3900
Kirişler	6290
Kolonlar	4100
Perdeler	4100
Toplam	23090

5.1.1.2 Betonarme Donatı Çelik Metraji

KISIM	MİKTAR (ton)
Temel	800
Bodrum Perdeleri	300
Döşemeler	592
Kirişler	1.250
Kolonlar	2.000
Perdeler	2.000
Toplam	6.942

5.1.1.3 Kalıp Metraji

KISIM	MİKTAR (m ²)
Temel	1.300
Bodrum Perdeleri	3.000
Döşemeler,Kirişler	31.450
Kolonlar,Perdeler	3.700
Toplam	39.450

5.1.2 Tasarlanan Çelik Yapı Metraji

5.1.2.1 Çelik Metraji

KISIM	MİKTAR (ton)
Kolonlar	1.525
Kirişler	789
Çaprazlar	323
Plaka ve Bulonlar	310
Toplam	2.947

5.1.2.2 Beton Metraji

KISIM	MİKTAR (m ³)
Temel	2.350
Bodrum Perdeleri	800
Kompozit Kolonlar	620
Döşemeler	2.550
Toplam	6.320

5.1.2.3 Betonarme Donatı Çelik Metraji

KISIM	MİKTAR (ton)
Temel	250
Bodrum Perdeleri	220
Kompozit Kolonlar	150
Döşemeler	828
Çelik Sac	310
Toplam	1.758

5.1.2.4 Kalıp Metraji

KISIM	MİKTAR (m ²)
Temel	1.300
Bodrum Perdeleri	3.000
Kompozit Kolonlar	1.000
Toplam	5.300

5.1.3 Birim Fiyatlar ve Tarifleri

Birim fiyatlar ve tarifleri Bayındırlık Bakanlığı tarafından yayınlanan cetvellerden alınmıştır. Fiyatlar 2006 yılına aittir.

1) BS35 Hazır Beton

Poz No: 16.059 / 2

Tarifi: Yıkanmış, elenmiş ve/veya kırılmış granülometrik agregâ ile TS'ye uygun, projesinde öngörülen mukavemeti sağlayacak şekilde hazırlanmış evsafındaki hazır beton harcının satın alınması, transmiksere yüklenmesi, döküm yerine beton pompası ile basılması, serilmesi, vibratör ile sıkıştırılması, gerektiğinde sulanması, soğuktan, sıcaktan ve diğer dış tesirlerden korunması, gerekli ve yeter sayıda deney için numune alınması ve gerekli deneylerin yapılması, her türlü işçilik, malzeme ve zayıatı, makina, araç, gereç ve laboratuvar giderleri, işyerindeki her türlü yatay ve düşey taşımalar, yükleme ve boşaltmalar ile müteahhit kârı ve genel giderler dahil yerinde dökülmüş 1 m³ beton fiyatı

Birim Fiyat: 99,56 YTL

2) Ø 14-28 mm Kalınlığında Nervürlü Çeliğın Bükölüp Döşenmesi

Poz No: 23.015

Tarifi: Beton çelik çubuğının (nervürlü) bükölüp, detay projesine göre (23.001) no'lu pozdaki şartlar dahilinde yerine konmasının 1 ton fiyatı

Birim Fiyat: 1.050,00 YTL

3) Demir Karkas (Çerçeve) İnşaat Yapılıp Yerine Tespiti

Poz No: 23.101

Tarifi: Her çeşit profil, çelik çubuk, çelik saçlarla projesine göre her yükseklik ve açıklıkta karkas inşaat yapılması, parçaların perçin, bulon ve kaynakla eklenmesi, bütün aksamın yerine monte edilmesi, her türlü zayıat, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, taşıyıcı iskele veya kaldırma tertibatı, boşaltma, işçilik, müteahhit kârı ve genel giderler dahil, 1 ton fiyatı

Birim Fiyat: 2.318,81 YTL

4) Plywood (Film Kaplı) İle Yapılan Düz Yüzeyli Çıplak Beton ve B.A Kalıbı

Poz No: 21.017 / 1

Tarifi: Çıplak beton betonarme kalıbı yapım işleri için idarece gerekli görüldüğünden onaylanmış projelerine göre TS 46'ya uygun 21 mm kalınlığında plywood film kaplı suni tahtalarla betonun suyunu sızdırmayacak şekilde kalıp yüzeyi teşkili, betona gelecek yüzeyin yağlanması, dakikada 800-12000 devirli vibratöre dayanacak şekilde takviye edilmesi, kalıbın sökülmesi, tekrar kullanılmak üzere kalıp yüzeyinin temizlenmesi, bu işler için her türlü malzeme ve bağlantı malzemesi ve zayıatı ile işçilik, müteahhit karı ve genel giderler dahil 1 m² fiyatı

Birim Fiyat: 16,29 YTL

5.1.4 Toplam Maliyetler

Fiyatlandırma YTL olarak yapılmış ve ayrıca USD(Amerikan Doları)'ye çevrilmiştir. Bu değerlendirmede merkez bankasının belirlediği 10.04.2006 tarihli dolar kuru olan 1 \$ = 1,34 YTL kabul edilmiştir.

5.1.4.1 İnce İşlerin Maliyeti

İki yapı türü için de yapının karkası oluşturulduktan sonra yapılacak olan işler hemen hemen aynıdır. Bu işler özetle; bölme duvarlar, su, ısı ve elektrik tesisatları, şap betonu, boyalar, zemin ve duvar kaplamaları, kapılar, dolaplar, dış cephe kaplaması, vitrifiye montajları, asansörler, merdiven kaplamaları ve çevre düzenlemesidir. Bu işlerin toplamı için piyasa fiyatlarının araştırılmasıyla 1 m² maliyeti olarak 100,00 YTL uygun görülmüştür. Buna göre ince işlerin toplam maliyeti $100,00 \text{ YTL} \times 30.033 \text{ m}^2 = 3.003.300,00 \text{ YTL}$ 'dir.

5.1.4.2 Mevcut Betonarme Yapı Maliyeti

MALZEME	MİKTAR	BİRİM FİYAT	TOPLAM TUTAR
Beton	23.090 m ³	99,56 YTL	2.298.840,00 YTL
BA Çeliği	6.942 ton	1.050,00 YTL	7.289.100,00 YTL
Kalıp İşçiliği	39.450 m ²	16,29 YTL	642.640,00 YTL
İnce İşler	30.033 m ²	100,00 YTL	3.003.300,00 YTL

Toplam: 13.233.880,00 YTL = 9.876.030 \$

5.1.4.3 Tasarlanan Çelik Yapı Maliyeti

MALZEME	MİKTAR	BİRİM FİYAT	TOPLAM TUTAR
Çelik	2.947 ton	2.318,81 YTL	6.833.533,00 YTL
Beton	6.320 m ³	99,56 YTL	629.219,00 YTL
BA Çeliği	1.758 ton	1.050,00 YTL	1.845.900,00 YTL
Kalıp İşçiliği	5.300 m ²	16,29 YTL	86.337,00 YTL
İnce İşler	30.033 m ²	100,00 YTL	3.003.300,00 YTL

Toplam: 12.398.289,00 YTL = 9.252.455 \$

5.2 Süre Analizi

5.2.1 Proje, Ruhsat, Hafriyat, Bodrum Perdeleri ve Temel İnşaatı Süre Analizi

Yapının proje, ruhsat, hafriyat, bodrum perdeleri ve temel inşaatı işlemleri için harcanacak süre betonarme yapı için de çelik yapı için de aynıdır. Bu sebeple bu süre hesaplanacak ve iki yapının da toplam süresine eklenecektir.

Proje işlemleri için 3 ay süre öngörülmüştür. Bu süreye mimari, statik, elektrik ve tesisat projeleri ve bunların revizyonları dahildir. Ruhsat işlemlerinin en iyimser yaklaşımla 2 ayda tamamlanacağı öngörülmüştür. Hafriyat işlemleri 2 ay, temel inşaatı 1 ay, bodrum perdeleri inşaatı 1.5 ayda tamamlanacaktır. Bütün bu işlemler için gereken toplam süre 9.5 aydır.

5.2.2 Mevcut Betonarme Yapı Süre Analizi

Betonarme yapının süre hesabı için düşünülmesi gereken kriterler, toplamda 23090 m³ beton ve 6942 ton betonarme çeliği kullanılacağıdır. Bunun temel için harcanan kısmı 3500 m³ beton ve 800 ton BÇ, bodrum perdeleri için harcanan 1200 m³ beton ve 300 ton BÇ, katlara harcanan ise 18390 m³ beton ve 5842 ton BÇ'dir. Bu rakamlara göre yapının her bir katına ortalama 497 m³ beton ve 158 ton BÇ harcanacaktır. 497 m³ betonun böylesine yüksek bir yapıda bir gün içerisinde dökülmesi oldukça zor olacağından, kolonların ve çekirdek kısımda bulunan perdelerin ayrı olarak hazırlanması ve kiriş ve döşemelerin ayrı olarak hazırlanıp beton dökülmesi uygun olacaktır. Böylelikle ilk olarak kolonlara ve çekirdek kısma

ait kalıp hazırlanacak, 108 ton BÇ döşenecek, 220 m³ beton dökülecek ve daha sonra kiriş ve döşeme kalıbı hazırlanarak 50 ton BÇ döşenecek ve 277 m³ beton dökülecektir. Bütün bu imalatın yeterli ekipman, iyi bir organizasyon ve kalifiye kalıp ve demir kadrolarıyla iki haftada tamamlanacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla yapının tamamı 18.5 ayda tamamlanacaktır. Bu süreye proje, ruhsat, hafriyat, bodrum perdeleri ve temel inşaatı süresini de ilave edersek mevcut betonarme yapının toplam inşaat süresi 28 aydır.

5.2.3 Tasarlanan Çelik Yapı Süre Analizi

Çelik yapı için toplamda 2947 ton çelik, 6320 m³ beton ve 1758 ton BÇ kullanılacaktır. Temel için harcanan 2350 m³ beton, 250 ton BÇ, bodrum perdeleri için harcanan 800 m³ beton, 220 ton BÇ ve kompozit kolonlar için harcanan 620 m³ beton, 150 ton BÇ'dir. Katlara harcanan miktar 2550 m³ beton ve 1138 ton BÇ'dir. Bu rakamlara göre yapının her bir katına ortalama 80 ton çelik, 69 m³ beton ve 31 ton BÇ harcanacaktır. Bu büyüklükte bir iş için yüklenici firmanın, imalatı gerçekleştirmek adına şantiyeye bir atölye kuracağı ve imalatı burada gerçekleştirip çelik elemanları nakliye ile uğraşmadan montaja göndereceği öngörülmüştür. Profillerin tedariki uzun sürebileceğinden, proje bitiminde siparişlerin gecikmeden verilmesi, hafriyat ve temel inşaatı bitimine kadar ilk imalatların hazırlanması için uygun olacaktır. Ayrıca montaj sürecinin yarı yarıya kısaltılması için iki adet kule vinç bulundurulması ve birbirini engellemeyecek şekilde binanın iki ucuna yerleştirilmesi öngörülmüştür. Bütün bu imalatın yeterli ekipman, iyi bir organizasyon ve kalifiye çelik, kalıp ve demir kadrolarıyla bir haftada tamamlanacağı öngörülmüştür. Dolayısıyla yapının tamamı 8.5 ayda tamamlanacaktır. Bu süreye proje, ruhsat, hafriyat, bodrum perdeleri ve temel inşaatı süresini de ilave edersek mevcut çelik yapının toplam inşaat süresi 18 aydır.

Çelik yapının betonarme yapıya göre daha az olan inşaat süresi; $28 - 18 = 10$ ay'dır.

5.3 Kira Geliri Hesabı

Metrocity ile ilgili internet üzerinden yapılan araştırmalar neticesinde 1 m² için istenen kira bedelinin ortalama 20 \$ olduğu tespit edilmiştir. Buna göre betonarme ve çelik yapı için oluşan net kullanım alanına göre aylık toplam kira geliri hesaplanacaktır.

5.3.1 Mevcut Betonarme Yapı Kira Geliri Hesabı

Her katın brüt alanı 881 m²'dir. Betonarme yapıda kolon ve perdelerin kapladığı toplam alan 70 m²'dir. Buna göre taşıyıcı sistemden arta kalan net kullanım alanı 811 m²'dir.

Aylık toplam kira geliri; $811 \text{ m}^2 \times 28 \text{ kat} \times 20 \$ = 454.160 \$$

5.3.2 Tasarlanan Çelik Yapı Kira Geliri Hesabı

Çelik kolonların kapladığı toplam alan 16 m²'dir. Dolayısıyla taşıyıcı sistemden arta kalan net kullanım alanı 865 m²'dir.

Aylık toplam kira geliri; $865 \text{ m}^2 \times 28 \text{ kat} \times 20 \$ = 484.400 \$$

Çelik yapının betonarme yapıya göre fazladan aylık kira getirisi; $484.400 - 454.160 = 30.240 \$$ 'dır.

5.4 Yatırımın Geri Dönüş Hesabı

5.4.1 Mevcut Betonarme Yapı İçin Hesap

Betonarme yapının toplam maliyeti 9.876.030 \$'dır ve aylık toplam kira geliri 454.160 \$'dır. Buna göre yatırılan bu bedelin geri dönüşü $\frac{9.876.030}{454.160} = 21.7 \text{ ay}$ 'dır.

5.4.2 Tasarlanan Çelik Yapı İçin Hesap

Çelik yapının toplam maliyeti 9.252.455 \$'dır ve aylık toplam kira geliri 484.400 \$'dır. Buna göre yatırılan bu bedelin geri dönüşü $\frac{9.252.455}{484.400} = 19.1 \text{ ay}$ 'dır.

Betonarme yapının çelik yapıya göre daha fazla olan yatırımın geri dönüş süresi; $21.7 - 19.1 = 2.6 \text{ ay}$ 'dır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

1) Mevcut yapının toplam ağırlığı 64700 ton, 1 m² ağırlığı 2.15 ton'dur. Tasarlanan yapının ise toplam ağırlığı 19057 ton, 1 m² ağırlığı ise 0.64 ton'dur. Bu rakamlara göre tasarlanan çelik yapı mevcut betonarme yapının üçte birinden daha hafiftir.

2) Tasarlanan yapıda toplam 2947 ton çelik kullanılmıştır. Buna göre 1 m² için harcanan çelik miktarı 98 kg'dır.

3)

KAT	ΔX	ΔY	GKÖX	GKÖY
28.NORMAL	0,1684	0,2035	0,000906	0,001576
27.NORMAL	0,1656	0,1983	0,001037	0,001658
26.NORMAL	0,1623	0,1925	0,001126	0,001709
25.NORMAL	0,1588	0,1862	0,001215	0,001730
24.NORMAL	0,1550	0,1795	0,001302	0,001855
23.NORMAL	0,1510	0,1723	0,001387	0,001970
22.NORMAL	0,1467	0,1658	0,001467	0,001996
21.NORMAL	0,1421	0,1613	0,001542	0,002051
20.NORMAL	0,1374	0,1558	0,001633	0,002103
19.NORMAL	0,1323	0,1484	0,001653	0,002158
18.NORMAL	0,1272	0,1403	0,001713	0,002213
17.NORMAL	0,1219	0,1349	0,001771	0,002259
16.NORMAL	0,1164	0,1288	0,001824	0,002283
15.NORMAL	0,1108	0,1245	0,001871	0,002299
14.NORMAL	0,1049	0,1205	0,001913	0,002318
13.NORMAL	0,0990	0,1150	0,001949	0,002350
12.NORMAL	0,0929	0,1090	0,001979	0,002364
11.NORMAL	0,0867	0,1012	0,002003	0,002405
10.NORMAL	0,0805	0,0940	0,002024	0,002455
9.NORMAL	0,0741	0,0865	0,002034	0,002410
8.NORMAL	0,0678	0,0793	0,002043	0,002344
7.NORMAL	0,0613	0,0721	0,002050	0,002303
6.NORMAL	0,0549	0,0645	0,002058	0,002250
5.NORMAL	0,0483	0,0580	0,002081	0,002178
4.NORMAL	0,0417	0,0524	0,002120	0,002040
3.NORMAL	0,0349	0,0461	0,002150	0,001940
2.NORMAL	0,0257	0,0384	0,001843	0,001887
1.NORMAL	0,0180	0,0277	0,001755	0,001764
ZEMİN	0,0081	0,0139	0,001196	0,001674

Yukarıdaki tabloda maksimum kat deplasmanları ve görelî kat ötelemeleri görölmektedir. En büyük yatay deplasman en üst katta, X doğrultusunda 0.1684 m, Y doğrultusunda 0.2035 m'dir. TS648'de verilmiş olan yatay tepe deplasman sınırı, h_0 yapı yüksekliği olmak üzere $\frac{h_0}{500}$ verilmiştir. Buna göre;

$$\Delta_{\max} = 0.2035 \text{ m} < \frac{h_0}{500} = \frac{103.1}{500} = 0.2062 \text{ m} \quad (\text{uygun})$$

En büyük görelî kat ötelemesi X doğrultusunda 3. normal katta 0.00215, Y doğrultusunda 10. normal katta 0.002455'dur. Her bir katta görelî kat ötelemesi sınırı TS648'e göre h kat yüksekliği olmak üzere $\frac{h}{300}$, TDY'ye göre ise 0.0035 m ve R taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere $\frac{0.02}{R}$ 'dir. Buna göre;

$$\frac{\Delta_{\max}}{h} = 0.002455 < \frac{h}{300} = \frac{3.3}{300} = 0.011 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{\Delta_{\max}}{h} = 0.002455 < 0.0035 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{\Delta_{\max}}{h} = 0.002455 < \frac{0.02}{8} = 0.0025 \quad (\text{uygun})$$

4) Yapıda, TDY'de belirtilmiş olan düzensizlik durumları aşağıda belirtildiği gibi bulunmamaktadır;

A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu yapıda aşağıda belirtildiği gibi bulunmamaktadır.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (\Delta_i)_{\text{ort}} = \frac{1}{2} \times [(\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}]$$

$$\text{X Doğrultusu için; } \eta_{bi} = \frac{0.1684}{\frac{1}{2} \times (0.1684 + 0.1679)} = 1.001 < 1.2 \quad (\text{uygun})$$

$$\text{Y Doğrultusu için; } \eta_{bi} = \frac{0.2035}{\frac{1}{2} \times (0.2035 + 0.2033)} = 1.001 < 1.2 \quad (\text{uygun})$$

A2 – Döşeme Süreksizlikleri:

I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu yapıda aşağıda belirtildiği gibi bulunmamaktadır.

$$A = 24 \times 32 = 768 \text{ m}^2$$

$$A_b = 2 \times (3.32 \times 4 + 2.175 \times 3.85) = 43.3 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_b}{A} = \frac{43.3}{768} = 0.056 < \frac{1}{3} = 0.33 \quad (\text{uygun})$$

II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşlukları yapıda bulunmamaktadır.

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmalar yapıda bulunmamaktadır.

A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu yapıda bulunmamaktadır.

B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Söz konusu durum betonarme binalarla ilgili olduğundan bu yapıda dikkate alınmamıştır.

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitsizlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu yapıda aşağıda belirtildiği gibi bulunmamaktadır.

$$\eta_{ki} = \frac{(\Delta_i / h_i)_{\text{ort}}}{(\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{\text{ort}}} \text{ veya } \eta_{ki} = \frac{(\Delta_i / h_i)_{\text{ort}}}{(\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{\text{ort}}}$$

$$\text{X Doğrultusu için; } \eta_{ki} = \frac{0.001755}{0.001196} = 1.46 < 2 \quad (\text{uygun})$$

$$Y \text{ Doğrultusu için; } \eta_{ki} = \frac{0.001887}{0.001764} = 1.07 < 2 \quad (\text{uygun})$$

B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu yapıda bulunmamaktadır.

5) Bölüm 5’de bulunan maliyet analizinde belirtildiği gibi mevcut betonarme yapının maliyeti 9.876.030 \$, tasarlanan çelik yapının maliyeti ise 9.252.455 \$’dır. Görüldüğü gibi çelik yapı maliyeti betonarme yapıdan 623.575 \$ daha ucuzdur. Bu yapıyı çelik ya da betonarme olarak yapma kararını verecek olan yatırımcı, maliyetteki 623.575 \$’lık ucuzluktan dolayı büyük olasılıkla çeliğe yönelecektir. Ayrıca bu kararı verirken sadece toplam maliyeti dikkate almak yerine diğer kriterlerin de dikkate alınmasında büyük fayda vardır. Örneğin bölüm 5.2.3’den görülebileceği gibi çelik yapının yapım süresi betonarme yapıdan 10 ay daha kısadır ve bölüm 5.3.2’den görülebileceği gibi çelik yapının aylık toplam kira geliri 484.400 \$’dır. Dolayısıyla çelik yapı yapmayı tercih eden yatırımcı, binasını 10 ay daha erken teslim alacak ve $10 \times 484.400 = 4.844.000$ \$’lık gelir elde edecektir. İlk bakışta çelik yapı betonarme yapıdan 623.575 \$ daha ucuza mal oluyor gibi görünmekte iken, daha erken bitmesi sebebiyle elde edilen 4.844.000 \$’lık gelir de bu hesaba dahil edilirse, çelik yapının $4.844.000 + 623.575 = 5.467.575$ \$ daha ucuza mal olacağı sonucuna varabiliriz. Ayrıca çelik yapının bir kattaki net kullanım alanı betonarme yapıdan 55 m^2 daha fazla olduğundan bölüm 5.3.2’den görülebileceği gibi yatırımcı çelik yapı yaparak her ay 30.240 \$ daha fazla kira geliri elde edecektir. Ayrıca bölüm 5.4.2’den görülebileceği gibi çelik yapı için yatırımın geri dönüş süresi, betonarme yapıdan 2.6 ay daha kısadır.

6) Mevcut betonarme yapı için temel altında fore kazık sisteminin bulunup bulunmadığı bilgisine ve varsa gerekli projelere ulaşamamıştır. Tasarlanan çelik yapının mevcut betonarme yapının üçte birinden daha hafif olduğu göz önüne alınırsa, fore kazık sisteminin bulunması durumunda, bu sistemin tasarlanan çelik yapıda çok daha ekonomik olarak çözülebileceği düşünülmektedir. Madde 5’deki maliyet farklarında bu durum da göz önüne alınabilseydi çok daha büyük farklar çıkacağı açıktır.

7) Çelik yapı inşaatının önemli bir kısmı olan imalat bölümü atölye koşullarında gerçekleştirildiğinden, çelik yapı yapılması durumunda betonarme yapıya oranla olumsuz hava koşullarından daha az etkilenilecektir. Ayrıca betonarme yapı inşaatında ortaya çıkan toz, çamur, gürültü gibi çevre kirliliği oluşturan faktörler çelik yapıda yok denecek kadar azdır. Bu da şehrin merkezinde yapılan böyle bir yapıda daha az sorunla uğraşmak ve çevreyi daha az rahatsız etmek demektir.

8) Betonarme yapıya yerleştirilen kalın perdeler mimari ihtiyaçlarla uyumlu değildir. Çelik yapıda bu elemanlar olmadığından mimari detayların çözümü daha kolay olacak ve istenildiğinde bölme duvarların değiştirilmesi daha kolay gerçekleştirilebilecektir.

9) Yıllar sonra ihtiyaçların değişmesi ve binanın olduğu alana daha farklı bir yapı yapılması ve binanın yıkılması gerekmesi durumunda, çelik yapı elemanlarının sökülmesi, betonarme yapının yıkılması ve oluşan enkazın araziden uzaklaştırılmasına oranla daha kolay olacak ve hatta bakım yapıldıktan sonra bu elemanlar belki de yeniden kullanılabilir.

10) Çelik yapı dışmerkez çelik çaprazlı tasarlanmış ve olası bir deprem etkisinde plastik deformasyonların bağ kirişlerinde oluşması öngörülmüştür. Bu sayede deprem hasarları yapının küçük bir kesiminde oluşacak ve hasarlı kirişlerin sökülüp yenilenmesiyle bina kolaylıkla tekrar kullanıma geçirilebilecektir. Aynı durumda betonarme yapıda hasarlar oluşması halinde, yapının yeniden kullanıma geçirilmesi çelik yapı kadar pratik olmayacak, daha uzun süreçli ve pahalı çözümler gerektirecektir.

11) Tüm hesaplamalar ve tespitler neticesinde Metrocity yapısı gibi deprem bölgesinde bulunan yüksek katlı bir yapı için, günümüz koşullarında çelik yapı seçiminin daha uygun olacağı düşünülmektedir. Binanın çelik olarak tasarlanmama sebebi olarak; ülkemizde çelik yapıların henüz yaygınlaşmamış olması, dolayısıyla inşaat sektöründe çeliğe yatkınlığın ve eğilimin az olması gösterilebilir. İlerleyen yıllarda ülkemizde, şehirleşmenin ve kalkınmanın bir neticesi olarak yüksek yapıların çoğalacağı ve çelik yapıların yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

12) Bölüm 3.2’de görülebileceği gibi yapı kirişleri kompozit olarak tasarlanmıştır. Bu yapının, bu tez kapsamında bulunmayan ayrı bir tasarımı daha yapılmış ve bu

tasarımda sadece tali kirişler kompozit olarak düşünölmüş, ana kirişler çelik olarak tasarlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yapıda toplam çelik metrajı 4667 ton bulunmuştur. Daha sonra tüm kirişlerin kompozit olarak tasarlanmasının çok daha ekonomik sonuçlar vereceğı düşüncesiyle bu tez kapsamındaki tasarım yapılmış ve toplam çelik metrajı Bölüm 5’de görölebileceğı gibi 2947 ton bulunmuştur. Kısacası kat kirişlerinin kompozit olarak tasarlanması sayesinde 1720 tonluk, yani % 36’lık tasarruf sağlanmıştır. Bu tasarrufun ekonomik getirisi 3.988.353 \$’dır.

13) Bölüm 3.7’de bodrum kat kompozit kolonları hesabı yapılmıştır. Bu bölümdeki hesaplardan görölebileceğı gibi kolonların kompozit tasarlanması durumunda çok daha büyük yükleri çok daha ekonomik kesitlerle karşılamak mümkün olmaktadır. Günümüzün en yüksek yapısı olan Taiwan’daki 509 m yüksekliğindeki Taipei 101 kulesinde de yapı kolonları kompozit olarak tasarlanmıştır. Tez konusu olan Metrocity binasında da kolonların tamamının ya da belirli bir yüksekliğe kadar olan kısmının kompozit olarak tasarlanmasıyla daha ekonomik sonuçlar bulunabileceğı düşünölmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 2006.
İmar İskan Bakanlığı, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı.
- [2] **TS500**, 2000. Betonarme Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [3] **TS498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [4] **TS648**, 2006. Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [5] **Deren, H., Erdoğan, U., Piroğlu, F.**, 2003. Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [6] **Odabaşı Y.** 1997, Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta, İstanbul.
- [7] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [8] **DIN 1055**, 1999. Deutch Institute of Norme.
- [9] **Özaydın, K.** , 1995. Zemin Mekaniği, İstanbul.
- [10] **ETABS User's Manual**, 1999. Computers and Structures, Inc. Berkeley, California.
- [11] **Arda, T. S., Yardımcı, N.**, 2000. Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı, İstanbul.
- [12] **Arda, T. S., Özgen, A.**, Seminer Notları, Kompozit Taşıyıcı Elemanlar, İstanbul.
- [13] **The National Building Code Of Canada**, 1985. Part 4
- [14] **Nethercot, D. A.**, 2003. Composite Comstruction.
- [15] **Narayanan, R.**, 1988. Steel - Concrete Composite Structures.

- [16] **Salıcı, O.**, 1997. Sabancı Center Akbank Kulesi İçin Bir Sistem Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Gözüaçık, Ç.**, 2006. Çelik Yüksek Yapılarda Dışmerkez Ve Merkezi Güçlendirilmiş Sistemlerin Bir Uygulama Üzerinde Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Özmen, G., Orakdöğen E., Darılmaz K.**, 2000. Örneklerle SAP 2000, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [19] **Ersoy U., Özcebe G.**, 2001. Betonarme, Evrim Yayınevi, Ankara.
- [20] **Ersoy U.**, 1995, Betonarme 2 Döşeme Ve Temeller, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [21] **Doğangün A.** 2002. Betonarme Yapıların Hesap Ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [22] **TS4561**, 1985. Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [23] **TS3357**, 1979. Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [24] **İMO-01.R-01**, 2005. “Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşim” Hesap, Yapım ve Muayene Kuralları, *İnşaat Mühendisleri Odası*, İstanbul
- [25] **Eryürek İ.B.**, 2004. Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi , *Askaynak Ticaret A.Ş.*, İstanbul

EK A. C_m VE C_b KATSAYILARI

İSİNO-9.6				
Konum	1	2	3	4
Moment Diyagramı Şekli				
C_m	$1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$	$1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$	1.75	1.00

— C_m katsayısının değerleri ise şöyledir:

- Çubuk uçlarında yanal deplasman söz konusu ise,
 $C_m = 0.85$
- Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmuyor ve moment düzlen içinde çubuğa etkiyen herhangi bir yük bulunmuyorsa,

$$C_m = 0.6 \pm 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

M_1 ve M_2 tanımları (TABLO-9.6) da verildiği gibi olup, tablodaki (Konum-1) için (-), (Konum-2) için ise (+) işareti kullanılmalıdır.

Çubuk uçlarında herhangi bir ötelenme olmuyor ve moment düzlemi içinde çubuğa etkiyen bir yük bulunmuyorsa,

$$C_m = 1 + \Psi \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_c}$$

Burada $\left[\Psi = \frac{\pi^2 EI_x}{M_{max} s^2} - 1 \right]$ dir. (M_{max}) çubuktaki en büyük açık-

ık eğilme momenti, (δ) eğilme nedeniyle çubukta oluşan en büyük seim, (s) çubuk boyudur. (TABLO-9.7) de çeşitli konumlara göre hesaplanmış (Ψ) değerleri verilmiştir.

TABLO-9.7						
	1	2	3	4	5	6
						
Ψ		-0.3	-0.4	-0.3	-0.4	-0.6

İki eksenle eğilmeli burkulma ($S+M_x+M_y$) durumunda, örneğin (x) ekseninin kuvvetli, (y) ekseninin de zayıf eksen oldukları varsayılırsa, (x) eksenine göre olan (C_{my} , σ_{by} , σ_{ey}) değerleri de aynen (x) eksen için uygulandığı biçimde bulunur. (σ_{By}) nin ise, sadece (4) no'lu bağıntıyla ($\sigma_{By} = 0.6 \cdot \sigma_a$) biçiminde hesaplanması yeterlidir.

EK B. ENKESİT KOŞULLARI

Eleman Tanımı	Narinlik Oranları	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	b/t	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.4\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$4.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Basınç etkisindeki T Kesitleri L Kesitleri	h/t_w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.4\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $4.0\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$
		$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$	$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.66\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.07 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t_w	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.1\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Tanımlar b : I kesitlerinde yarım başlık genişliği U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği h : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu D : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap t : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı			

ÖZGEÇMİŞ

Yunus Emre Çağatay, 1981 yılında İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 1998 yılında Y.T.Ü İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2003 yılında lisans eğitimini iyi derece ile tamamladı. 2003 güz yarıyılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Analizi Ve Tasarımı Bölümüne girmeye hak kazandı. Yüksek lisans ders programını 2005 yılında tamamladı.

Yazar, 2003 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini sürdürmekte ve özel bir müteahhitlik firması olan Çağatay İnşaat’da teknik işler müdürü olarak görev yapmaktadır.