

ARD GERMELİ BİRLEŞİMLERİN TASARIM İLKELERİ

Araş. Gör. Onur ERTAŞ
Boğaziçi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN
Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Turan ÖZTURAN
Boğaziçi Üniversitesi

Özet

Sunulan bu çalışma, yurt binası olarak planlanan I. deprem bölgesindeki 4 katlı prefabrik bir binanın üç farklı giriş açıklığında ard-germeli olarak tasarımını ve değerlendirme kriterlerini içermektedir. Tasarımı yapılan binanın oturma alanı, geometrisi, malzeme özellikleri ve zemin sınıfı aynı alınmıştır. Bu çalışma ard-germeli kolon-kiriş birleşim detaylarının Türk şartnamelerindeki kabullere göre tasarlanabileceğini, ancak değerlendirme kriterlerinin plastik analiz sonuçlarına göre olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Giriş

1998 Adana Ceyhan, 1999 Kocaeli ve Düzce Depremleri sonrasında yapılan saha incelemeleri ve analitik çalışmalar prefabrik yapıların, özellikle birleşim bölgelerinin performansının irdelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu depremlerin ve yeni tasarım kriterlerinin prefabrik yapıım tekniklerinde yarattığı etki ve arayışların yanı sıra 1990'larda ABD'de hız kazanan ard-germeli hibrit birleşimler Türkiye'deki üreticilerin de dikkatini çekmiştir. Bu amaçla, 2003 yılı içerisinde, TÜBİTAK (İÇTAG I589) ve Türkiye Prefabrik Birliği'nin desteği ile Boğaziçi (BÜ) ve Kocaeli (KOÜ) Üniversitelerinin ortaklığında ard-germeli birleşim detayları ile ilgili deneysel ve analitik çalışmalar başlatılmıştır.

Bu konuda daha önce yürütülmüş çalışmalara bakıldığında ilk olarak 1970'lerde Blakaley ve Park(1) tarafından başlanmış ve 1977 yılında da Park ve Thompson(2) bugünkü dizayn ilkelerinin temelini oluşturan bulgular yayınlamıştır.

Bu çalışmada, 10 adet öngermeli ve ya kısmi öngermeli kolon-kiriş birleşimleri test edilmiş, öngermeli birleşimlerin sünekliliğinin, basınç bölgesine yerleştirilen yumuşak donatı çeliği ile arttırılabileceği ayrıca kesit ortasına yerleştirilen öngerme halatlarının birleşim bölgesindeki kayma dayanımına katkısının daha yüksek olacağı belirtilmiştir. Buna ek olarak, halatların, kesitte daha az zorlanacağı bölgeye yerleştirilmelerinin daha avantajlı olacağıda tasarım kriteri olarak benimsenmiştir(3). 1980 yılında Park ve Thompson tarafından öngermeli veya kısmi öngermeli kirişlerin sünekliliği konusunda yapılan bir çalışmada, halatların aderanssız olarak yerleştirilebileceğinden bahsedilmektedir(4).

1990'lı yıllarda, Japon-ABD işbirliği çerçevesinde ard-germeli birleşim detayları ile ilgili geniş kapsamlı bir çalışma (PRESS) başlatılmıştır. Bu tip birleşim detaylarının yeniden gündeme gelmesinin en önemli sebebi şantiyede imalat süresini ve kalite kontrolünü minimum düzeye indirerek bunların yaratacağı maliyetlerden tasarruf etmektir. Buna ek olarak, depreme dayanıklı yapı tasarımında, dizayn edilen modern binaların depremi en fazla tamir edilebilir düzeydeki hasarlarla atlatması prensibinin benimsenmesidir.

Bu bilgiler ışığında, NIST çalışmasının ilk ayağında, şahit deney olarak yerinde dökümlü numuneler ile birleşim bölgesinde sadece aderanslı ard-germe bulonlarının yerleştirildiği prefabrik eleman deneyleri yapılmıştır(5). Çalışmanın ikinci aşamasında test edilen detayın enerji tüketim performansının zayıf olması nedeniyle bunun iyileştirme yolları aranmıştır. İlk olarak, ard-germe bulonları kiriş merkezine doğru çekilmiş ve ikinci testte, bu bulonlar yerine öngerme halatları tercih edilmiştir. Çalışmanın üçüncü fazında, kısmi aderanslı öngerme halatları kullanılmıştır(6). Araştırmanın son etabında, 10 adet farklı birleşim detayı test edilmiştir. Seçilen deney parametreleri ise, öngerme halatlarının yeri, kısmi aderanslı ve aderanssız olması ve birleşim bölgesindeki yumuşak donatı çeliğinin miktarı olmuştur(7).

Bu çalışmanın sonucunda ard-germeli birleşimlerde öngerme halatları tercih edilmeli, bu halatlar kiriş kesitinin merkezine yerleştirilmeli ve tersinir yükler altında davranışları elastik bölgede kalmalıdır değerlendirilmesine ulaşılmıştır. Ayrıca sünekliğini ve enerji tüketimini arttırmak için birleşim bölgesi yumuşak donatı çeliği içermelidir. Yürütülen bu çalışmaya paralel olarak Priestley tarafından(8, 9), iç ve dış birleşimlerde aderanssız öngerme halatları kullanılmıştır. Son aşama olarak, bu detaylar 5 katlı prefabrik model yapı üzerinde uygulanmış ve sarsma tablasında test edilmiştir(10). Bu deneyin sonucunda, önerilen ard-germeli birleşim detayının performansı umut verici olmuştur. Bu detay, yük kaybına uğramadan yüksek oranda dönme kapasitesine ilave olarak, sistemde minimum kalıcı deplasmanlar gözlenmiş ve model yapıda minimum yapısal hasar oluşmuştur. Bu detayın deney esnasında görülen en büyük dezavantajı, test edilen birleşim bölgesi detaylarının burulma momentlerine karşı zayıf olmasıdır.

Yapılan tüm bu akademik çalışmalar deney aşamasında kalmayıp, bu detay gerçek saha uygulamasına da geçirilmiştir. I. deprem bölgesinde 39 katlı, 128 m yüksekliğinde bir prefabrik apartman tasarlanmış ve inşasına başlanmıştır (11).

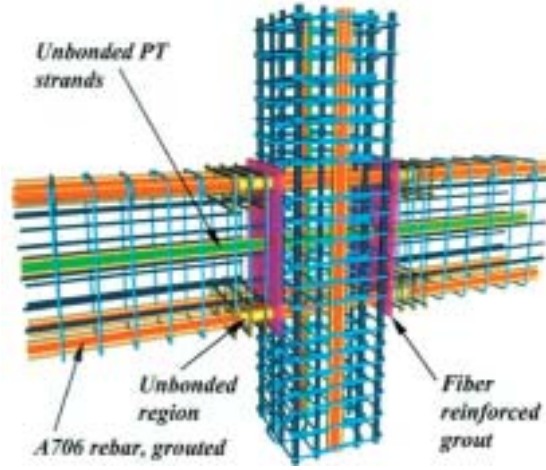
Tüm bu çalışmaların ürünü olarak, ACI tarafından 2001 yılında taslak olarak ard-germeli birleşimlerin dizayn prosedürleri yayınlanmış (12) ve bu taslak 2003 yılında standart olarak (ACI T1.2) kabul edilmiştir (13).

Tasarım İlkeleri

Bu kısımda, ACI T1.2'ye göre tasarım ilkeleri genel olarak baz alınıp, BÜ'de yapılan ard-germeli birleşim deneylerinin erken sonuçlarına göre de yorumlar yapılacaktır. Aynı zamanda, ACI T1.2'deki tasarım ilkeleri Türk Standartlarına göre adapte edilmeye çalışılacaktır. Bu yapıların performans kriteri olarak, yapının güçlü bir depremi minimum ve az kalıcı deplasmanla atlatması baz alınmıştır. Ancak, ard-germeli birleşim detaylarının, ACI318-21 (14) ve Türk deprem yönetmeliğindeki süneklik düzeyi yüksek yapı elemanları ile ilgili kriterlerin her zaman sağlanmadığı durumlar gözlenmiştir. Deneysel olarak yeterli dayanıma, tokluğa ve sünekliliğe sahip olduğu kanıtlanırsa bu tip detaylarında deprem bölgelerinde kullanılabileceği ve bu birleşimlerle ilgili minimum kabul şartları ACI T1.1'de(15) açıklanmıştır.

Ard-germeli birleşimlerin tasarım detayları, Şekil 1'de gösterildiği gibi üç temel unsura dayanmaktadır.

- Öngerme halatları aks boyunca aderanssız olacak ve kiriş merkezi boyunca yerleştirilecektir. Bu halatlar deprem yükleri altında elastik davranmalıdır.
- Birleşim bölgesinde kirişin alt ve üstüne eşit oranda yumuşak donatı çeliği yerleştirilecek ve düşük kat öteleme seviyelerinde donatıların kopmasını engellemek için birleşim yerinde donatıda bir miktar aderanssız boy bırakılacaktır. Eşit miktarda donatı konulmasının sebebi, birleşim detayının enerji tüketim kapasitesini arttırmaktır.
- Bu sistemlerin kalıcı guselere ihtiyacı yoktur. Kesme kuvvetleri uygulanan ard-germe sonucu kolon-kiriş ara yüzeyinde oluşan sürtünme ile taşınmaktadır.



Şekil1. Ard-germeli birleşim detayı (16)

Bunlara ek olarak ACI-T1.1 test performans kriterlerine göre de ard-germeli hibrit birleşimlerde %3.5 göreceli kat öteleme oranına kadar kapasitesinde ciddi düşüş olmamalı, aynı zamanda bu detay %3.5 göreceli kat öteleme çevriminde 1/8 oranında enerji tüketmelidir.

Bu bilgiler ışığında, ACI T1.2'ye göre birleşim bölgesinin dizayn prosedürleri ve minimum şartlar aşağıda sıralanmıştır. Verilen ilk formüller ACI T1.2'den doğrudan alınmış olup hemen altında köşeli parantez -[] içinde verilenler ise Türk standartlarına uyarlanmış halidir. Bu konuyla ilgili çözümlü örnek ve notasyonlar Ek-A da verilmiştir.

- Minimum örgerme miktarı Denklem 1'de verildiği gibi arttırılmış düşey yükler altında hesaplanan kesme kuvveti kadar olmalıdır. Sürtünme katsayısı (μ) 0.6 olarak alınabilir.

$$A_{ps} f_{se} = \frac{1.4V_D + 1.7V_L}{\phi\mu} \quad (1-a)$$

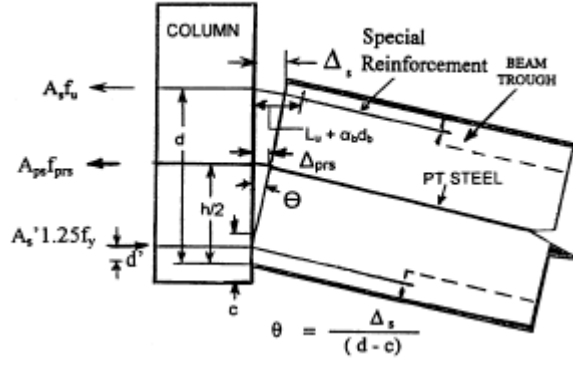
$$\left[A_{ps} f_{se} = \frac{1.4V_G + 1.6V_Q}{0.85\mu} \right] \quad (1-b)$$

- Yumuşak donatı çeliğinin miktarı Denklem 2'de gösterildiği gibi düşey yükler altında oluşan kesme kuvvetlerini taşıyacak miktarda olmalıdır. Donatıların kesme mukavemetleri akma mukavemetlerinin yarısı olarak kabul edilebilir. Aynı zamanda bu miktar ACI T1.1 kriterlerine göre %3.5 kat ötelemesinde %15 enerji tüketimini gerçekleştirmelidir. Öte yandan bu donatıların (A_s ve A_s') kesitin moment kapasitesine katkısı %50 oranını, kalıcı deplasmanları arttırmaması amacıyla geçmemelidir. Burada A_s ve A_s' eşit değerlerde olacağından $(A_s + A_s')/2 = A_s$ olarak kabul edilmiş ve Denklem 2'de verilmiştir.

$$\frac{A_s f_y + A_s' f_y}{2} = A_s f_y = \frac{V_D + V_L}{\phi} \quad (2-a)$$

$$\left[A_s f_{yd} = V_G + V_Q \right] \quad (2-b)$$

- Moment kapasite hesabı Şekil 2'de gösterildiği gibi, yumuşak donatının çekme dayanımına ulaştığı andaki kolon-kiriş ara yüzeyinde oluşan dönme miktarı baz alınarak hesaplanmaktadır.



Şekil 2. Kolon-kiriş arayüzündeki dönme miktarı (13)

Donatıdaki uzama miktarı Denklem 3 ile hesaplanabilir. α_b aderansın bozulmasına bağlı olan bir katsayıdır. Bu katsayı 2 ile 5.5 arasında değişmektedir.

$$\Delta_s = (L_u + \alpha_b d_b) \varepsilon_{su} \quad (3)$$

Bu katsayının deneysel çalışma sonunda belirlenmesinde büyük fayda vardır. NIST tarafından yapılan deneylerde bu katsayı 5.5 bulunurken, Raynor (17) tarafından yapılan aderans çalışması bu katsayının 2 olabileceğini göstermiştir. BÜ'de yürüttüğümüz çalışmada bu değer yaklaşık 3 olduğu gözlenmiştir. Bu katsayı, gerçeğinden küçük seçildiğinde donatı çeliğinin akmasının geciktiği, büyük alındığı takdirde de düşük kat ötelemelerinde donatının koptuğu gözlenmiştir.

Denklem 3'teki ε_{su} hesaplanırken çekme dayanımındaki uzama miktarının (ε_u) %90'ının alınmasında fayda vardır. Aderanssız öngerme halatlarında oluşan uzama ve birim uzama miktarları için Deklem 4 ve 5 kullanılabilir. Bunun devamında halatlarda oluşan gerilme ise elastik davrandığı kabulü ile kolaylıkla hesaplanır.

$$\Delta_{prs} = \Delta_s \frac{h/2 - c}{d - c} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{prs} = \frac{\Delta_{prs}}{L_{ups}} + \varepsilon_{se} \quad (5)$$

Denklem 6 ve 7'yi kullanarak, tahmini moment kapasitesi hesabında yumuşak donatı çeliğinin ve öngerme halatlarının katkıları ayrı ayrı hesaplanabilir.

$$M_s = A_s f_u \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) - A_s' 1.25 f_y \left(d' - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (6-a)$$

$$\left[M_s = A_s f_{yd} \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) - A_s' f_{yd} \left(d' - \frac{k_1 c}{2} \right) \right] \quad (6-b)$$

$$M_{prs} = A_{ps} f_{prs} \left(\frac{h - \beta_1 c}{2} \right) \quad (7-a)$$

$$\left[M_{prs} = A_{ps} f_{prs} \left(\frac{h - k_1 c}{2} \right) \right] \quad (7-b)$$

Kesitin toplam eğilme moment kapasitesi (M_{pr}) ise Deklem 6 ve 7'nin toplamı olacaktır. Eğilme esnasında oluşan etkili basınç bloğunun derinliği ise Deklem 8 ile bulunur.

$$\beta_1 c = \left[\frac{A_{ps} f_{prs} + A_s f_u - A_s' 1.25 f_y}{b(0.85 f_c')} \right] \quad (8-a)$$

$$\left[k_1 c = \left[\frac{A_{ps} f_{prs} + A_s f_{yd} - A_s' f_{yd}}{b(0.85 f_{cd})} \right] \right] \quad (8-b)$$

Eğilme kapasitesi ve detaylandırılması yapıldıktan sonra aşağıda maddeler halinde belirtilen kontrollerin yapılması zorunludur.

- Öngerme halatlarının davranışları elastik bölgede kalmalıdır ve Denklem 9'u sağlamalıdır. Bunu garantilemek için tavsiye edilen başlangıç öngerme yükü kapasitesinin %40'ı civarında olmalıdır.

$$\frac{f_{prs}}{f_{pru}} < 0.80 \quad (9)$$

- Yumuşak donatı çeliğinin eğilme kapasitesine katkısı %50 oranını geçmemelidir (Denklem10). Bunun yanında TS3233'te verilen alt limit değerinin (%10) doğruluğu BÜ'de yapılan araştırmanın erken sonuçlarına göre yetersiz kalmaktadır.

$$\frac{M_s}{M_{pr}} \leq 0.50 \quad (10)$$

- NIST ve BÜ'de yapılan çalışmalar göstermiştir ki sistemin %3.5 kat ötelenmesine kadar ulaşabilmesi için, ara yüzde oluşan dönme miktarının da yaklaşık %3.5 olması gerekmektedir (Denklem 11).

$$\theta(\%) = \frac{\Delta_s}{d - c} \times 100 \approx \%3.5 \quad (11)$$

- Düşey yükler ve plastik moment kapasitelerini kullanılarak Denklem 12'de hesaplanan kesme yükleri ara yüzeyde oluşan sürtünme kuvvetleri ile taşınabilmelidir.

$$V_u = 0.75(1.4V_D + 1.7V_L) + \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} = \phi \mu C \quad (12-a)$$

$$\left[V_u = V_{dy} + \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} = 0.85 \mu C \right] \quad (12-b)$$

Örnek Model

Bu kısımda, ard-germeli kolon-kiriş birleşimlerinin üç farklı yapıda detaylandırılması ve sonuçları verilmiştir. Modelleme esnasında tek tip geometriye sahip simetrik yapılar alınmış ve üç farklı açıklık seçilerek analiz edilmiştir. Bu yapılar 60 m x 20 m'lik oturma alanına sahip olan, 4 katlı ve kat yüksekliği 3.20 m olan prefabrike yurt binasıdır. Bu yapı, I. deprem bölgesinde zemin sınıfı Z3 seçilerek SAP2000 V.8 programı kullanılarak elastik analiz yapılmıştır. Tasarlanan yapı, moment aktarabilen prefabrik çerçevelerden oluştuğu için yapı davranış katsayısı (R) 6 olarak seçilmiştir.

Yapılan ard-germeli birleşim deneylerinde sistemin rijitliği konvansiyonel sistemlere göre daha yüksek olduğu ancak kirişin kolon yüzünden ayrılmaya başladığı zaman rijitliğinde önemli bir kayıp olduğu görülmüştür. Bu sebeple, bu sistemlerin deplasman bazlı tasarımları daha rasyonel sonuçlar vermesine rağmen, yönetmeliklerin kuvvet bazlı dizayn yöntemlerini içermesinden dolayı yapının rijitliği taşıyıcı elemanların kesit özelliklerinden hesaplanabilir(18).

Bu kabuller altında, X yönünde 5 m, 7.5 m ve 10 m açıklıklara, Y yönünde de 5 m sabit açıklığa sahip 3 farklı yapı (Şekil B1-B3) TS500 (19) ve TS 3233 (20), ABYYHY'98 (21)'deki yük kabullerine göre analiz edilmiştir. Bu üç farklı yapıda, aks açıklığına bağlı olarak kolon ve kiriş boyuları farklılık göstermektedir. Bu yapılarda tabandaki kolon kesitlerinin toplam alanı yaklaşık olarak sabit alınmıştır. Bu yapıların plandaki görünüşleri Ek-B' de Şekil B1, B2 ve B3'te gösterilmiştir. Bunlara ek olarak, Tablo 1'de de binaların geometrik özellikleri özetlenmiştir. Tüm yapılarda Y yönünde uzanan prefabrik boşluklu döşemeler kullanılmıştır.

Tablo 1. Binanın geometrik özellikleri

	YAPI I	YAPI II	YAPI III
X yönü aks açıklığı	10 m	7.5 m	5 m
Y yönü aks açıklığı	5 m	5 m	5 m
X yönü kiriş boyutları	50/80 cm	40/65 cm	30/50 cm
Y yönü kiriş boyutları	30/60 cm	30/50 cm	30/50 cm
Kolon kesitleri	80/80 cm	70/70 cm	60/60 cm

Üç farklı aks açıklığının seçilmesinin sebebi, birleşim bölgesini düşey yük altında farklı seviyede kesme kuvvetine maruz bırakarak yumuşak donatının ve öngerme kuvvetlerinin minimum sınırlarını göstermektir. Ard-germeli birleşimler detaylandırılırken aynı malzeme özellikleri sabit alınmıştır. Beton sınıfı C40 seçilmiş, donatı çeliğinin özellikleri için TS500'deki S420a çeliğinin minimum sınırları kabul edilmiştir. Öngerme halatları ise 13 mm nominal çap ve 1860 MPa kopma mukavemetine sahiptir.

Analiz Sonuçları

Yük kombinasyonlarından elde edilen en elverişsiz sonuçlar tasarım yükleri olarak kabul edilmiştir ve birleşim bölgesi bu değerlere göre detaylandırılmıştır. Detaylandırma sırasında malzeme özellikleri TS3233 de yer alan güvenlik katsayılarına bölünerek kullanılmıştır. Detayların kapasite hesapları ve diğer sonuçlar plastik hesap yöntemine göre ve Türk standartlarına (TS) adapte edilmiş şekilde Tablo 2-6'da sunulmuştur. Kiritik olduğu düşünülen veya detayların sınır aralıklarını göstermek amacıyla, birleşimler orta ve kenar akslarından ve 2. ve 4. kat seviyelerinden seçilmiştir. Bu tablolarda kesitlerin eğilme kapasitelerinin yanı sıra tasarım yükleri, yumuşak donatı çeliğinin minimum alanı, uygulanacak olan minimum öngerme yükü değerleri verilmiştir. Bunlara ek olarak, kesitteki donatı sayısı ve aderanssız bırakılacak boy, öngerme halatlarının miktarı ve germe yükünün seviyesi gösterilmiştir. Sonuçta, eğilme kapasiteleri, yumuşak donatının kapasiteye etkisi, öngerme halatlarında oluşacak olan maksimum gerilme oranı ve birleşim bölgesinin dönme miktarı iki farklı analiz ile açıklanmıştır.

Birleşim bölgeleri detaylandırılırken donatı çeliğinin katkısı en az %24 en fazla da %48 olarak hesaplanmıştır. BÜ'de yapılan deneylerde bu oranların ACI T1.1 kriterlerini de sağladığı gözlenmiştir. Bu donatılarda bırakılacak olan aderanssız kısmın uzunluğu ise birleşim bölgesinin en az %3.5 dönebileceği şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca α_b katsayısı da 3 olarak seçilmiştir.

Tablo 2 Yapı I X yönü 2. kat orta aks birleşimlerin detayları

	V _{G+Q} (kN)	V _{1.4G+1.6Q} (kN)	M _d (kNm)	Min A _s (mm ²)	Min. F _{se} (kN)	# donatı	# halat	L _u (mm)	L _{ups} (m)	f _{se} /f _{pru}	M _{pr} (kNm)	M _s /M _{pr}	f _{prs} /f _{pru}	θ (%)
Plastik analiz	250	368	860	685	721	2 φ 24	18	120	5	0.5	1042	0.28	0.68	3.8
TS' ye göre tasarım											886	0.24	0.65	4.2

Tablo 3 Yapı I Y yönü 2. kat kenar aks birleşimlerin detayları

	V _{G+Q} (kN)	V _{1.4G+1.6Q} (kN)	M _d (kNm)	Min A _s (mm ²)	Min. F _{se} (kN)	# donatı	# halat	L _u (mm)	L _{ups} (m)	f _{se} /f _{pru}	M _{pr} (kNm)	M _s /M _{pr}	f _{prs} /f _{pru}	θ (%)
Plastik analiz	21	29	424	58	57	3 φ 24	9	25	2.5	0.5	539	0.48	0.72	3.8
TS' ye göre tasarım											440	0.43	0.68	4.5

Tablo 4 Yapı II X yönü 2. kat orta aks birleşimlerin detayları

	V _{G+Q} (kN)	V _{1.4G+1.6Q} (kN)	M _d (kNm)	Min A _s (mm ²)	Min. F _{se} (kN)	# donatı	# halat	L _u (mm)	L _{ups} (m)	f _{se} /f _{pru}	M _{pr} (kNm)	M _s /M _{pr}	f _{prs} /f _{pru}	θ (%)
Plastik analiz	174	257	520	476	504	3 φ 18	12	80	3.75	0.6	633	0.31	0.76	3.5
TS' ye göre tasarım											530	0.27	0.72	4.0

Tablo 5 Yapı III X yönü 2. kat orta aks birleşimlerin detayları

	V _{G+Q} (kN)	V _{1.4G+1.6Q} (kN)	M _d (kNm)	Min A _s (mm ²)	Min. F _{se} (kN)	# donatı	# halat	L _u (mm)	L _{ups} (m)	f _{se} /f _{pru}	M _{pr} (kNm)	M _s /M _{pr}	f _{prs} /f _{pru}	θ (%)
Plastik analiz	110	160	292	301	314	3 φ 18	9	40	2.5	0.6	373	0.40	0.73	3.7
TS' ye göre tasarım											302	0.35	0.68	4.3

Tablo 6 Yapı III Y yönü 4. kat kenar aks birleşimlerin detayları

	V _{G+Q} (kN)	V _{1.4G+1.6Q} (kN)	M _d (kNm)	Min A _s (mm ²)	Min. F _{se} (kN)	# donatı	# halat	L _u (mm)	L _{ups} (m)	f _{se} /f _{pru}	M _{pr} (kNm)	M _s /M _{pr}	f _{prs} /f _{pru}	θ (%)
Plastik analiz	21	29	145	58	57	1 φ 20	4	60	2.5	0.5	185	0.33	0.77	3.6
TS' ye göre tasarım											161	0.30	0.75	3.8

Ard-germeli birleşimlerin sadece kapasite bazlı hesaba dayanmadığı, performans bazlı kriterleri de içermesinden dolayı tablolarındaki son üç kolon oldukça önem taşımaktadır. Burada gözlenen en önemli sorun, TS'ye göre adapte edilen analiz yönteminde, öngerme halatlarındaki gerilmelerin ve yumuşak donatının kapasiteye katkısının plastik analiz sonuçlarına göre daha düşük seviyelerde hesap ediliyor olmasıdır. Bu da yalnızca TS'ye göre yapılan detaylandırmalarda, öngerme halatlarının davranışlarının lineer olmayan bölgeye geçme ihtimalini ortaya çıkartmaktadır. Bu ihtimal donatı çeliğinin eğilme kapasitesine katkısının %50 sınırı için de geçerlidir. Ayrıca, ara yüzdeki TS'ye göre hesaplanan dönme miktarı plastik analizdekinden daha büyük olması, tasarımcıyı yumuşak donatıdaki aderanssız boyu kısa tutmasına neden olacak ve düşük kat ötelemelerinde birleşimin erken göçmesi ihtimali doğacaktır.

Öngerme halatları kiriş merkezine yerleştirilmesinden dolayı, yüksek moment değerleri altındaki tasarımlarda halat sayısı önemli derecede artışına sebep olmaktadır. Bunun için en optimum çözüm aks açıklıklarını konvansiyonel sistemlerdeki gibi kısa tutmak olabilir.

Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan analitik çalışmanın neticesinde, ACI T1.2'de önerilen hesap metotlarıyla çok katlı bir yapıdaki ard-germeli birleşimlerin hesaplanabildiği görülmüştür. Bu hesap metotlarının Türk Standartlarına adaptasyonu sırasında tasarım kriterlerinin bir kısmının güvenli olmayacak yanıltıcı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu durum tasarımdaki beton mukavemetinin TS500'e göre 1.4 güvenlik katsayısına bölünmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun için, kapasite hesapları Türk yönetmeliklerine uygun yapılırken, diğer tasarım kriterleri için daha kesin sonuçlar veren plastik analiz yöntemi seçilmelidir. Yapılan üç farklı yapı tipinden elde edilen analiz sonuçları göstermiştir ki; ard-germeli birleşim detaylarının en efektif kullanım alanı genellikle konvansiyonel sistemlerdeki gibi kısa açıklı yapılardır.

Bütün bunların dışında, ard-germeli birleşimlerdeki mafsallaşmanın kolon yüzeyinde olması nedeni ile ABYYHY'98'de yer alan güçlü birleşim detayı konseptine uyulmamaktadır. Öncelikle deprem yönetmeliğinde bu tip birleşim detaylarının önünün açılmasını sağlayacak değişiklikler yapılmalıdır. Aynı zamanda, aderanssız ard-germeli birleşim detayları üzerine bir teknik şartname hayata geçirilmelidir.

Teşekkür

Bu projenin deneysel safhasının gerçekleşmesinde destek sağlayan BÜ Yapı Laboratuvarı'na, TÜBİTAK'a (İÇTAG I589), Türk Prefabrik Birliği'ne, AFA Prefabrik'e, GÖK İnşaat'a ve SİKA-Türkiye'ye teşekkür ederiz.

Kaynakça

1. Blakeley, R.G., Park, R. and Shepherd, R. “A review of the Seismic Resistance of Prestressed Concrete” *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, V.3 N.1, Mart 1970, s:3-23.
2. Park, R. and Thompson, K. “Cyclic Load Test on Prestressed and Partially Prestressed Beam-Column Joints”, *PCI Journal* V. 22, N. 5, Eylül-Ekim 1977, s: 84-110.
3. Architectural Institute of Japan, Design Essentials in Earthquake Resistant Buildings, Elsevier Company, New York ,1970, s:186-200.
4. Park, R. and Thompson, K. “Ductility of Prestressed and Partially Prestressed Concrete Beam Sections”, *PCI Journal* V. 25, N. 2, Mart-Nisan 1980, s: 47-69.
5. Cheok, S.G, and Lew, H.S., “Performance of Precast Concrete Beam to Column Connections Subject to Cyclic Loading”, *PCI Journal*, V. 36, N. 3, Mayıs-Haziran 1991 s: 57-67.
6. Cheok, G. and Stone W., “Performance of 1/3 Scale Model Precast Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Inelastic Loads”, *NISTIR 5246*, Report No:3, Ağustos 1993, NIST.
7. Cheok, G. and Stone W., “Performance of 1/3 Scale Model Precast Concrete Beam-Column Connections Subjected to Cyclic Inelastic Loads”, *NISTIR 5436*, Report No:4, Haziran 1994, NIST.
8. Priestley, M. J. and Tao, J. R., “Seismic Response of Precast Prestressed Concrete Frames with Partially Debonded Tendons”, *PCI Journal*, V.38, N. 1, Ocak-Şubat 1993, s: 58-69.
9. Priestly, M. J. N. and MacRae, G. A., “Seismic Tests of Precast Beam to Column Joint Subassemblages with Unbonded Tendons”, *PCI Journal*, V. 41, N. 1, Ocak-Şubat 1996, s: 64-80.
10. Priestley, M. J. N., Sritharan, S., Conley, J. and Pampanin, S., “Preliminary Results and Conclusions from the PRESS Five-Story Precast Concrete Test Building”, *PCI Journal*, V.44, N. 6, Kasım-Aralık 1999, s: 42-67.
11. Englekirk, R. E., “Design Construction of The Paramount –A 39 –Story Precast Prestressed Concrete Apartment Building”, *PCI Journal*, V. 47, N. 4, Temmuz-Ağustos 2002, s: 56-71.
12. ACI Task Group 01, “Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members and Commentary”, *ACI Structural Journal*, V. 98, N. 5, Eylül-Ekim 2001, s: 771-784.
13. ACI T1.2-03, “Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members”, ACI, 2003.
14. “ Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI-318-99”, ACI, Detroit, 1999.
15. “ Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing”, ACI T1.1-01, American Concrete Institute,. 2001.
16. “Seismic Design”, Precast/Prestressed Concrete Institute, http://www.pci.org/markets/markets.cfm?path=seismic_testing&id=innovations.cfm
17. Raynor, D. J., Lehman, D. E., and Stanton, J. F., “Bond-Slip Response of Reinforcing Bars Grouted in Ducts”, *ACI Structural Journal*, V. 99, N. 5, Eylül-Ekim 2002, s:568-576.
18. Stanton, J., Stone, W. C., and Cheok, G. S., “A Hybrid Reinforced Precast Frame for Seismic Regions”, *PCI Journal*, V.42, N. 2, Mart-Nisan 1997, s: 20-32.
19. “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları,, TS 500”, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
20. “Öngermeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS 3233”, Türk Standartları Enstitüsü, 1979.
21. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 1997, Türkiye.

EK-A

Semboller

A_{ps}	=	Öngerme halatlarının toplam net alanı
A_s	=	Çekme bölgesindeki yumuşak donatının alanı
A_s'	=	Basınç bölgesindeki yumuşak donatının alanı
b	=	Birleşim bölgesindeki kiriş genişliği
C	=	Eğilme momenti altında oluşan basınç kuvveti
c	=	Basınç gerilme bloğunun derinliği
d	=	Etkili kiriş yüksekliği
d_b	=	Donatı çapı
f_c	=	Karakteristik beton basınç dayanımı
f_{cd}	=	Hesapta kullanılacak basınç dayanımı
f_{prs}	=	Öngerme halatlarında oluşan gerilme
f_{pru}	=	Öngerme halatlarının çekme dayanımı
F_{se}	=	Başlangıç öngerme yükü ($A_{ps} * f_{se}$)
f_{se}	=	Öngerme halatlarındaki net gerilme
f_u	=	Donatının çekme dayanımı
f_y	=	Donatının akma dayanımı
f_{yd}	=	Donatının hesapta kullanılacak akma dayanımı
h	=	Kiriş yüksekliği
k_1	=	Beton sınıfına bağlı katsayı –TS 500
L_n	=	Net kiriş açıklığı
L_u	=	Donatıdaki birleşim bölgesindeki aderanssız boy
L_{ups}	=	Aderanssız öngerme halatının boyu
M_d	=	Tasarım moment değeri (Yapısal analizden elde edilen değer)
M_{pr}	=	Birleşimin toplam eğilme kapasitesi ($M_s + M_{prs}$)
M_{pr1}	=	Kirişin sol ucunda birleşimin toplam eğilme kapasitesi
M_{pr2}	=	Kirişin sağ ucunda birleşimin toplam eğilme kapasitesi
M_{prs}	=	Öngerme halatlarının eğilme kapasitesine katkısı
M_s	=	Donatının eğilme kapasitesine katkısı
V_{dy}	=	Düşey yüklerden oluşan basit kiriş kesme kuvveti
$V_{D,G}$	=	Ölü yüklerden kaynaklanan kesme kuvveti
$V_{L,Q}$	=	Haraketli yüklerden kaynaklanan kesme kuvveti
V_u	=	Hesaplanan maksimum kesme kuvveti
α_b	=	Aderans bozulmasına bağlı değişen katsayı
β_1	=	Beton sınıfına bağlı katsayı –ACI 318
Δ_{prs}	=	Öngerme halatlarında oluşan uzama miktarı
Δ_s	=	Donatıda oluşan uzama miktarı
ϵ_{prs}	=	Öngerme halatlarındaki birim boy uzaması
ϵ_{se}	=	Öngerme halatlarındaki başlangıç gerilmesinden oluşan birim boy uzaması
ϵ_{su}	=	Hesapta kullanılan donatının çekme dayanımındaki birim boy uzaması
ϵ_u	=	Donatının çekme dayanımındaki birim boy uzaması
ϕ	=	Azaltma katsayısı ACI 318
μ	=	Sürtünme katsayısı
θ	=	Arayüzdeki dönme miktarı

Örnek

Örnek tasarım olarak Yapı II X yönünde 2. kat birleşimi seçilmiştir. Bu detayın özet bilgileri Tablo 4'te verilmiştir. Aşağıda adım adım bu birleşimin plastik moment kapasite hesabı gösterilecektir.

Kiriş Boyutları, donatı detayları ve malzeme özellikleri:

$b=400\text{ mm}$ $h=650\text{ mm}$ $d=580\text{ mm}$ $d'=70\text{ mm}$
 $A_s=763\text{ mm}^2$ $A_{pt}=1188\text{ mm}^2$ $L_u=80\text{ mm}$ $L_{ups}=3750\text{ mm}$ $f_{se}=0.6*f_{pru}$ $\alpha_b=3$ $d_b=18\text{ mm}$
 $f_c=40\text{ MPa}$ $f_y=420\text{ MPa}$ $f_u=500\text{ MPa}$ $\epsilon_{su}=0.108$

Plastik Moment Kapasite Hesabı:

Adım 1

$\Delta_s=14.47\text{ mm}$ (Denk. 3)
 $c_i=150\text{ mm}$ → Kabul
 $\Delta_{prs}=5.9\text{ mm}$ (Denk. 4)
 $\epsilon_{prs}=0.00715\text{ mm/mm}$ (Denk. 5)
 $f_{prs}=1430\text{ MPa}$
 $M_s=196\text{ kNm}$ (Denk 6)
 $M_{prs}=448\text{ kNm}$ (Denk. 7)
 $M_{pr}=644\text{ kNm}$
 $c_f=170\text{ mm}$ (Denk. 8)
Kontrol $c_i=c_f$, Değilse → bir sonraki adımda c_f yeni c_i

Adım 2

$\Delta_s=14.47\text{ mm}$ (Denk. 3)
 $c_i=170\text{ mm}$ → Kabul
 $\Delta_{prs}=5.5\text{ mm}$ (Denk. 4)
 $\epsilon_{prs}=0.00704\text{ mm/mm}$ (Denk. 5)
 $f_{prs}=1408\text{ MPa}$
 $M_s=195\text{ kNm}$ (Denk 6)
 $M_{prs}=436\text{ kNm}$ (Denk. 7)
 $M_{pr}=631\text{ kNm}$
 $c_f=168\text{ mm}$ (Denk. 8)
Kontrol $c_i=c_f$, Değilse → bir sonraki adımda c_f yeni c_i

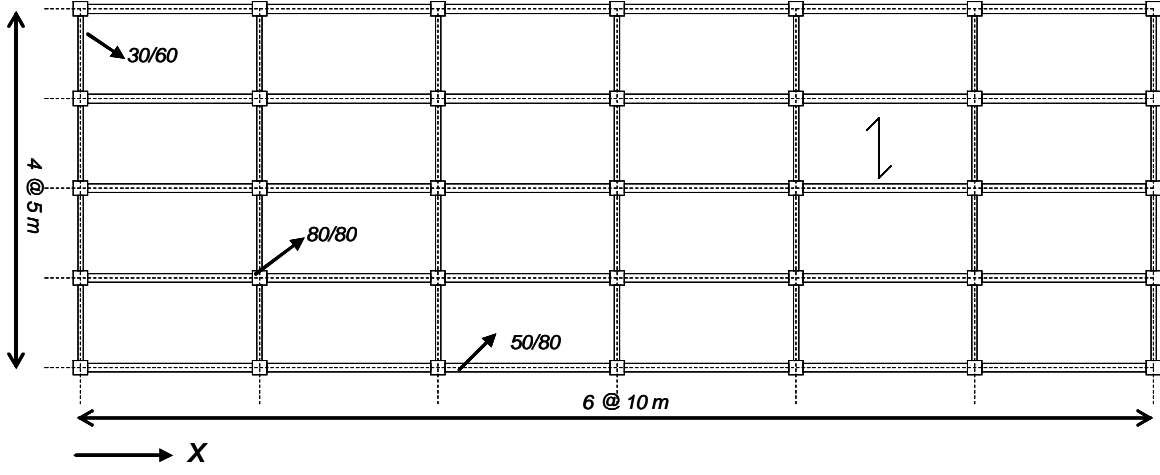
Adım 3

$\Delta_s=14.47\text{ mm}$ (Denk. 3)
 $c_i=168\text{ mm}$ → Kabul
 $\Delta_{prs}=5.5\text{ mm}$ (Denk. 4)
 $\epsilon_{prs}=0.00705\text{ mm/mm}$ (Denk. 5)
 $f_{prs}=1410\text{ MPa}$
 $M_s=195\text{ kNm}$ (Denk 6)
 $M_{prs}=438\text{ kNm}$ (Denk. 7)
 $M_{pr}=633\text{ kNm}$
 $c_f=168\text{ mm}$ (Denk. 8)
Kontrol $c_i=c_f$, Tamam
 $\theta=3.51\%$ (Denk. 11)

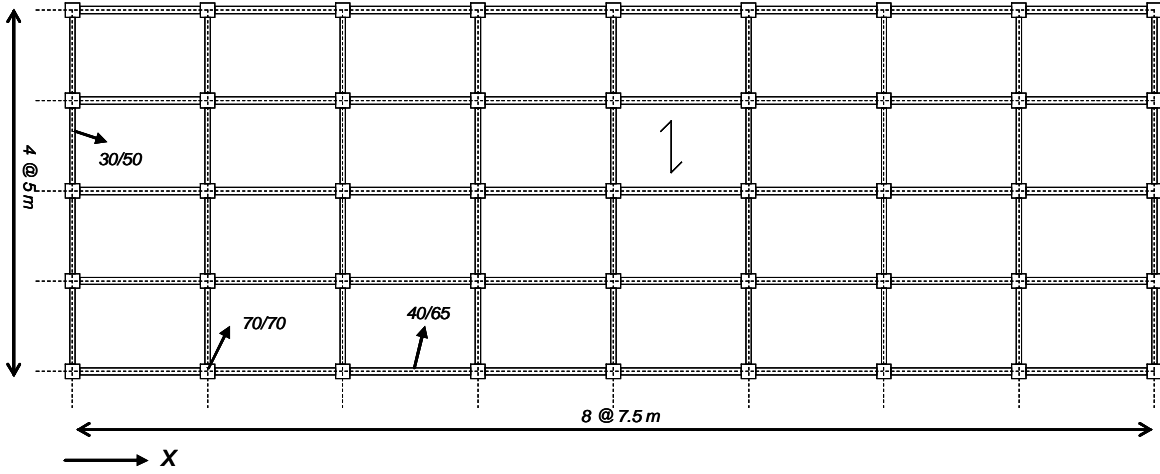
Kontroller:

$f_{prs}/f_{pru}=0.76 < 0.80$, $M_s/M_{pr}=0.31 < 0.50$, $\theta=3.51\% \geq 3.5\%$

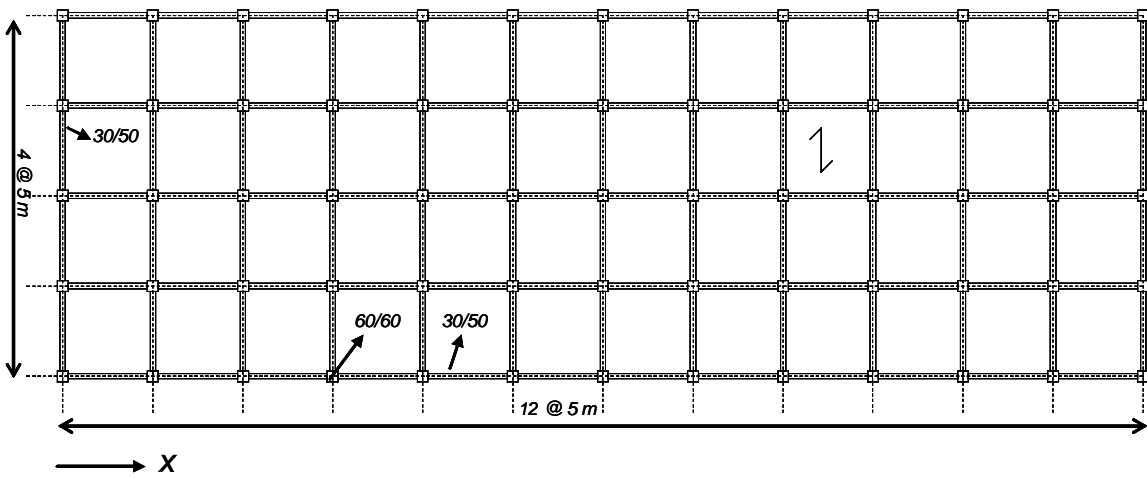
EK-B



Şekil B1. Yapı I plan görünüşü



Şekil B2. Yapı II plan görünüşü



Şekil B3. Yapı III plan görünüşü

Birinci Oturum**Oturum Başkanı:** İnş.Y. Müh. Uğur BELGER**Tematik Konuşma**
(Y. Mim. Doğan TEKELİ)

- 1- **Önyapım (Prefabrikasyon) Deneyimim**
Y. Mim. Cengiz BEKTAŞ
- 2- **Modüler Koordinasyon ve Yapısal Mekanoların Tasarım Esnekliğine Katkısı**
Yrd. Doç. Dr. İlkay KOMAN, Mimar Sinan Üniv.Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı
- 3- **Prefabrike Yapılar ve Estetik, Taşıyıcı Sistem ve Cepheler**
İnş.Y. Müh. Altay ÇİZGENAKAT Akat Prefabrike, İzmir

İkinci Oturum**Oturum Başkanı:** Prof. Dr. Erhan KARAESMEN

- 1- **Sürdürülebilirlik Kavramı Anlayışında Beton Endüstrisinin İrdelenmesi**
Doç. Dr. Mim. Nihal ARIOĞLU, Y. Mim. Doktorant Dilek Dilhan HATİPOĞLU, Y. Müh. M. Övül ARIOĞLU SALMONA, Prof. Dr. Ergin ARIOĞLU
- 2- **Beton Prefabrikasyonda Beyaz Çimentonun Yeri**
Önder KIRCA, Mehmet ŞAHİN, Çimsa Çimento Sanayi ve Tic. AŞ.
- 3- **Öngerilmeli Prefabrike Beton Düşey Elemanlar**
Dr. Haluk GÜNERMAN, HEG Danışmanlık İzmir
- 4- **Yangında Prefabrike Beton ve Çelik Yapı Davranışı**
Prof. Dr. Celal KOZANOĞLU, Celal Bayar Üniv., İnş.Müh. Böl.

Üçüncü Oturum**Oturum Başkanı:** Prof. Dr. Necati ŞEN**Tematik Konuşma** (Prof. Dr. Uğur ERSOY)

- 1- **Ağır Hasar Görmüş Kare Kesitli Prefabrik Kolonların Bölgesel Mantolama ile Geri Kazanılması**
S.Z Yüce, Y.BİNGÖL, Prof. Dr. H.F. KARADOĞAN, E.YÜKSEL, İTÜ İnşaat Müh.
- 2- **Betonarme Binaların Ön Üretimli Beton Panellerle Güçlendirilmesi**
Prof. Dr. Tuğrul TANKUT, Prof. Dr. Uğur ERSOY, Prof. Dr. Güney ÖZCEBE, Mehmet BARAN ODTÜ İnş. Fak. Böl.
- 3- **Prefabrike Kolon - Krişlerin Ard-Germeli Birleşimleri**
İnş.Y.Müh. Birol DOYRANLI Alacalı İnşaat İstanbul

Dördüncü Oturum**Oturum Başkanı:** Prof. Dr. Murat GÜNAYDIN

- 1- **Ard Germeli Birleşimlerin Tasarım İlkeleri**
Arş.Gör.Onur ERTAŞ Boğaziçi Üniv.,Yrd.Doç. Dr. Şevket ÖZDEN Kocaeli Üniv., Prof.Dr.Turan ÖZTURAN Boğaziçi Üniv.
- 2- **Prefabrike ve Öngerilmeli Betonarme Yapıların Bağlantı Bölgelerinin Kafes Analojisiyle Tasarımı**
Dr. Hakan TÜRKER, Mustafa Kemal Üniv. İnş.Müh. Böl.
- 3- **Adana Ceyhan Depreminin Bölgedeki Prefabrike Sistemler Üzerindeki Etkisi**
Arş.Gör.Semiha AKÇAÖZOĞLU, Prof. Dr. Erkin ERTEN, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Mim. Böl.

Beşinci Oturum**Oturum Başkanı:** Y. Mim. Köksal ANADOL

- 1- **Çelik Lifli Beton Boru Performansının Beton Boru ile Hasır Donatılı Beton Boru Performanslarının Mukayesesi**
Erol YAKIT, Süleyman ULUÖZ, Selahattin DÜZBASAN, İlgaz İnşaat Adana
- 2- **Geleneksel Prefabrike Beton Üretiminden Kendiliğinden Yerleşen Betona Geçişte Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri**
Arş. Gör. Burak FELEKOĞLU, Arş. Gör. Mert Yücel YARDIMCI , Prof. Dr. Bülent BARADAN, Dokuz Eylül Üniv. İnş. Müh. Böl.
- 3- **Prefabrike Beton Direklerde Alkali Silika Reaksiyonunun İncelenmesi**
Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU, Arş.Gör. Ahmet Raif BOĞA Osmangazi Üniv.



TÜRKİYE PREFABRİK BİRLİĞİ

11. BETON PREFABRİKASYON SEMPOZYUMU

[ÖNSÖZ](#)

[BİLİM KURULU](#)

[İÇİNDEKİLER](#)

[ORGANİZASYON
ve SPONSORLAR](#)

[TELİF HAKLARI](#)

degussa.
creating essentials

YKS

CHRYSO
K İ M Y A İ N Ş A A T
MALZEMELERİNİN HİZMETİNDE



BATICIM
BATI ANADOLU ÇİMENTO SANAYİ A.Ş.



ARKİTERA MİMARLIK MERKEZİ
ARCHITECTURE CENTER