



Teknik Not

Öngerilmeli Beton Teknolojisi

Osman ÜNAL, Gökhan KÜRKLÜ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyonkarahisar

ÖZET

Modern mühendislikte daha güvenli yapılara ve yüksek dayanımlı malzeme kullanımına doğru yapılan çalışmalar kesit boyutlarının azalmasını ve yapının hafiflemesini sağlamıştır. Bu gelişmelerin en önemli uygulamalarından biri de betonarme yapılardır. Bu yapılarda toplam tasarım yükünün büyük bir bölümü de elemanların kendi öz ağırlığıdır. Bu noktadan hareketle, kesitte oluşacak ve istenmeyen çekme gerilmelerini azaltacak veya önleyecek ön basınç uygulamasıyla ilgili düşünceler ortaya çıkmıştır.

İnşaat mühendisliğinde kullanılan taşıyıcı sistem malzemeleri arasında öngerilmeli beton; artan araştırmalar, ilerleyen teknolojiler ile gelişerek en verimli taşıyıcı sistem malzemelerinden birisi halini almıştır. Bugün, ister beton dökümünden önce, ister beton dökümünden sonra olsun betona verilen ön germe kuvvetleri ile oluşturulan öngerilmeli beton teknolojisi büyük açıklıkları ekonomik geçme, normal betonarmenin birçok özrünü giderme ve taşıyıcının ömrünü uzatma gibi faydalarının yanı sıra daha ekonomik daha estetik, daha güvenli, daha narin yapılar inşa etme gibi geniş olanaklarda sunmaktadır. Bu çalışma, önerilmeli beton teknolojisinin amacı, kapsamı ve gelişimi hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öngerilmeli beton, Ön çekmeli , Art çekmeli

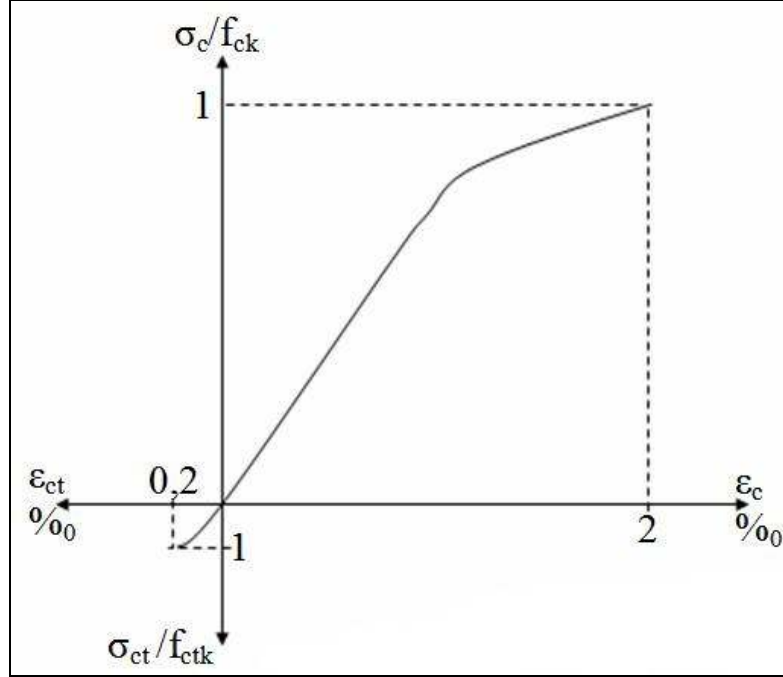
1. GİRİŞ

Çok önemli bir yapı malzemesi olan betonun kusur olarak kaydedilebilecek olan bir özelliği çekme gerilmeleri altında mukavemetinin, basınç gerilmeleri altındaki mukavemetinden çok küçük olmasıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi basit çekme altında betonun mukavemeti, basit basınç altındaki mukavemetinin $1/10 - 1/12$ ’si kadardır. Bunun yanında kırılma boy değiştirmeleri ise basit basınç altında kısalma $0,002$ ve basit çekme altında uzama $0,0002$ olarak $1/10$ kadardır.

Betonun bu kusuru, taşıyıcı bir elemanın kesitinde meydana gelen çekme gerilmelerini alacak şekilde taşıyıcı sistemin çekme bölgelerini çelik çubuklarla donatmak suretiyle giderilmiş ve “betonarme” denen kompleks bir cisim yaratılmıştır. Betonla çeliğin arasındaki bağlantı sebebiyle beraber ve basınç gerilmelerinin ya hepsi veya önemli bir kısmı beton tarafından alınmaktadır. Donatının, betonda meydana gelen basınç çubuklarına mesnetlik yapmak, kiriş ve kolon birleşim yerlerinde, sargı bölgelerinde betonun birim kısalma kapasitesini artırarak ve kesitin kırılma olmadan büyük bir dönme yapmasını temin ederek taşıyıcı sistem “düktil” yapmak gibi önemli görevleri de vardır[1,2].

Betonun çekme dayanımı çok düşük olup bu dayanımı göz önüne alınmadığı için betonarme kesit hesabında betonun çekme gerilmelerini alamadığı, çekme kuvvetlerinin donatı tarafından taşındığı kabul edilir. Donatı, sıcaklık değişimi, rötre gibi etkilerden oluşan çekme gerilmelerinin taşınması ve çatlak genişliklerinin sınırlı kalmasını sağlamada kullanılır. Kolonlarda donatı basınç kuvveti ile zorlanan

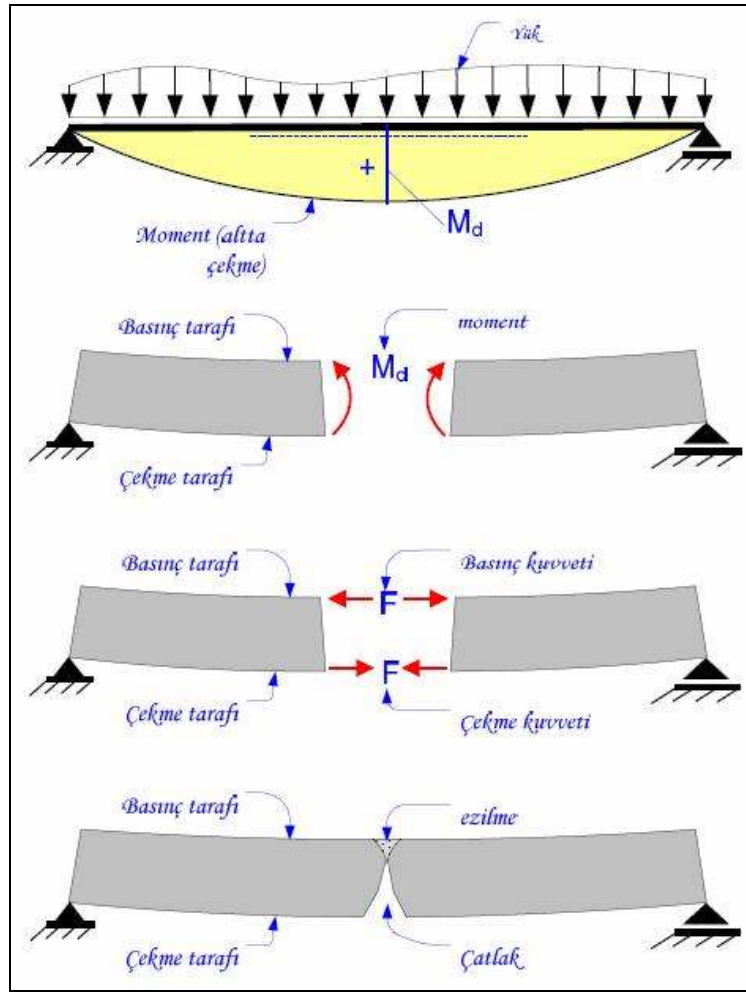
betonun taşıma kapasitesini artırır. Büyük çatlakları önler ve ortaya çıkan eğilme momentlerini karşılar. Basınç donatısı olarak betonun sünme ve rötre şekil değiştirmelerini azaltır. Sadece basınç gerilmeleri ile zorlanan ve burkulma tehlikesi olmayan yapı elemanlarında betonun yüksek basınç dayanımı nedeniyle donatının önemi fazla değilse de yüksek basınç gerilmelerine maruz betonarme elemanlarda yarılmalara karşı enine donatı veya fret donatısı kullanılır. Enine donatı betonun göçme şekil değiştirmesinin büyümesini sağlar ve böylece sünekliği artırır [3].



Şekil 1. Betonun basınç-çekme dayanımı ve çekme uzaması ve basınç kısılması grafiği

Şekil 2'de betonarme taşıyıcı elemana örnek olması üzere basit mesnetli bir kiriş görülmektedir. Kirişe Etkiyen M_d momenti F ile gösterilen kuvvet çiftine eşdeğerdir. Kirişin üst lifleri F basınç kuvvetinin, alt lifleri de F çekme kuvvetinin etkisindedir. Betonun basınç dayanımı yüksek olduğundan F kuvvetini taşıyabilir. Çekme kuvvetini beton taşıyamaz, çatlaklar oluşur. Çatlak kirişe dik yönde oluşur. Çatlak giderek genişler ve kesit yüksekliğince yol alır. Basınç bölgesindeki beton ezilir ve kiriş kırılır. Bu kırılmanın gerçekleşmemesi için çekme bölgelerine donatı eklenerek sistem işler hale getirilir ve böylece betonun çekme gerilmeleri taşıyamama sorunu giderilmiş olur[4]. Ancak aşağıdaki sorunlar hala mevcut bulunmaktadır:

Betonun çekmede uzama kapasitesinin azlığı sebebiyle donatıda gerilmenin 650 kg/cm^2 'yi geçtiği durumlarda betonda çatlaklar oluşmakta ve işletme yükleri altında en düşük donatı gerilmesi ise 1400 kg/cm^2 olmaktadır. Bu çatlakların genişlikleri, donatı gerilmesi 2800 kg/cm^2 'yi aşınca donatı nervüllü olsa da, kabul edilebilir sınırları aşmaktadır. Betonarme bir kesitin normal gerilmeler bakımından etkisiz bölge kısmen de olsa taşınabilen faydalı yükü azaltıcı yönde etkilemektedir. Bundan dolayı açıklık arttıkça betonarme kirişler kendi ağırlıkları sebebiyle artık ekonomik olmamaktadırlar. Deprem etkileri de ağırlıkla beraber artmaktadır. Çatlaklar kabul edilebilir sınırlar içinde olsalar bile donatı korozyona uğrayabilmekte ve yapının ömrü azalmaktadır.



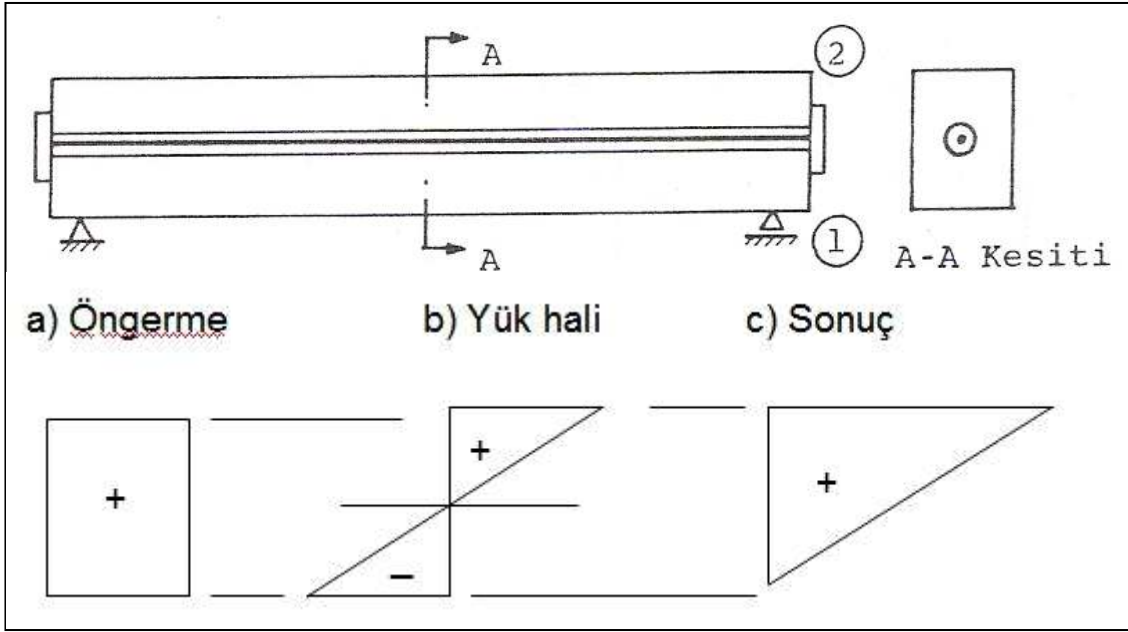
Şekil 2. Basit kirişte oluşan iç kuvvetler

2. ÖNGERİLMELİ BETON

Betonarmenin sahip olduğu bu mahsurlar da yine betonarmenin çekme mukavemetinin ve çekme kopma uzamasının çok küçük olmasından meydana gelmektedir. Bu mahsurları gidermenin, işletme durumunda söz konusu olabilecek bütün yükleme hallerinde, taşıyıcı sistemin hiçbir kesitinde ya hiç çekme gerilmesi olmamasını veya bu çekme gerilmesinin çatlama olmayacak kadar küçük kalmasını veya çatlak genişliğinin istenilen değeri aşmamasını temin eden bir gerilme durumunu dış yüklerden önce veya onların bir kısmının etkimesi ile beraber taşıyıcı sistemden yapay olarak yaratmak suretiyle mümkün olacaktır.

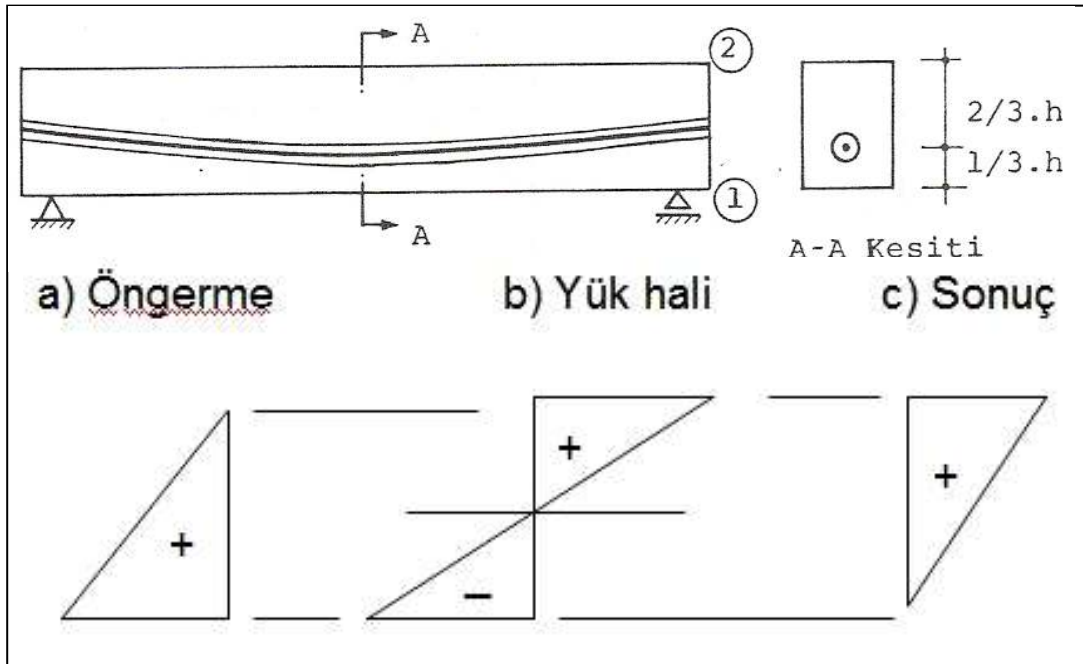
Burada çok önemli olan husus, bu yapay gerilme durumunun yüklerden dolayı en büyük basınç gerilmelerinin meydana geldiği kesit kenarlarında verdiği gerilmenin "sıfır" veya daha iyisi çatlama olmayacak kadar küçük bir çekme gerilmesi olmasını temin edebilmesidir. Aksi halde kesitin yük taşıma kapasitesinin azalacağı açıktır.

Öngerilmeli taşıyıcı elemanın davranışını en basit şekli ile tanımlayabilmek için şekil 3'deki gibi basit, ortası çelik tellerin geçmesi için boş olan izostatik bir kiriş düşünülebilir. Taşıyıcı elemanda yük bulunması durumunda oluşacak gerilmeler (b) deki gibi olacaktır. (a) da ise gerilmiş ve düzgün bir dağılım elde edilmiş olan öngerme görülmektedir. Sonuca bakıldığında bu iki durum birleştirildiğinde çekme gerilmeleri ortadan kaldırılmış ve kesitin çatlama engellenmiştir. Fakat pratikte bu uygulama farklı olarak gerçekleştirilir. Zira bu uygulamadan da görüleceği gibi sistemde çekme gerilmeleri yok edilmesine karşın basınç gerilmeleri iki katına çıkarılmıştır[5].



Şekil 3. Merkezden gerdirilen öngerilmeli basit kiriş

Betonun zamana bağlı şekil değiştirmelerinden olan sünme yüksek basınç gerilmeleri altında daha da artacağından sistemin biraz daha iyileştirilerek bu soruna çözüm bulunması gerekmektedir. Germe kabloları şekil 4'deki gibi kiriş merkezinde alt çekirdek noktasından geçirilecek olursa beton basınç gerilmeleri azalır. Bunun yanında öngerilme kuvveti de azalmış olur[5].



Şekil 4. Dış merkezli gerdirilen öngerilmeli basit kiriş

Bu açıklamalarda betonun doğrusal elastik davrandığı varsayılmaktadır. Beton çatlamadığına göre bu kabul yanlış sayılmamaktadır. Yükün verdiği gerilme durumu ile yapay gerilme durumunun yapının ömrü boyunca sabit kalması, daimi olması gereklidir. Yapay gerilme durumunun değeri, kablo yeri ve donatı alanı seçilince donatıdaki gerilmeye bağlıdır. Öngerme kablolarının uçları ankre edildikten sonra da donatı gerilmesi sabit kalıyor denemez. Betonun zamanla büzülmesi ve sabit basınç altında zamanla kısalmaya uğraması sebebiyle kablo uçları arasındaki mesafe küçülür ve donatıdaki gerilme düşer. Bir de sabit iki nokta arasında gerilmiş bir çelik telin zamanla uzaması (rölaksasyon) vardır. Bu da ilave bir gerilme kaybına sebep olur. Zamana bağlı bu üç tür gerilme kaybının toplam ortalama değeri 250-300 N/mm²

civarındadır. Sürtünme ve zamana bağlı gerilme kayıpları düşüldükten sonra geri kalan donatı gerilmesinin ve bunun betonda verdiği yapay gerilme durumunun artık daimi oldukları söylenebilir. Yukarıda belirtilen özellikleri olan ve dış yüklerin etkilenmesinden önce veya onların bir kısmının etkimesi ile beraber yaratılan ve taşıyıcı sisteme dış yüklerden gelecek gerilmeleri maksada uygun şekilde değiştiren yapay ve sürekli bir gerilme durumuna “öngerilme durumu” ve öngerilmenin verildiği betona da “öngerilmeli beton” denir.

Öngerme donatısının zamana tabi gerilme kayıplarının 300 N/mm^2 ve sürtünme kaybının da minimum 50 N/mm^2 olduğu göz önüne alınırsa, daimi olarak elde 500 N/mm^2 'lik bir gerilmenin kalabilmesi için öngerme donatısının en az 800 N/mm^2 'lik bir başlangıç gerilmesi ile gerilmesinin gerektiği ortaya çıkar. Buna göre öngerme donatısı olarak, akma limiti en az 900 N/mm^2 ve daha yüksek olan yüksek kaliteli çelikler kullanılmalıdır.

3. TS 3233'E GÖRE ÖNGERİLMELİ BETON İLE İLGİLİ TANIMLAR

Burada öngerilmeli beton denince yalnızca çelik donatı, tel, çubuk ve kabloları ile verilen öngerilmeli beton sistemler kastedilmektedir. Zaten “Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” nı içeren TS 3233 de öngerilmeli betonu “öngerilmeli beton, elemana gelecek yüklerin etkilerinin çeliğin gerilmesi ile istenilen şekilde dengelendiği betondur” diye tarif etmektedir. Bu noktada öngerilmeli beton ile ilgili çeşitli tanımları yapmak gerekir. Bunlar;

Öngerme Teli: Yüksek dayanımlı, çeşitli çaplarda imal edilen, düz ve kıvrımlı çelik teldir.

Öngerme Toronu: Bir telin etrafında bir veya birden fazla telin veya en az iki telin birbirine sarılmasıyla elde edilmiş öründür.

Öngerme Çubuğu: Yüksek dayanımlı, çeşitli çaplarda imal edilen özel alaşımlı çelik çubuktur.

Öngerme Kablosu: Öngerme tel, toron veya çubuklarının bir grup olarak kullanılması halidir. Kablolar art çekme metodunda kullanılır.

Öngerme Çeliği (donatı): Ön gerilmeli elemanlarda donatı olarak kullanılan tel, toron, çubuk veya bunlardan oluşan kablodur.

Kılıf: Art çekmeli elemanlarda, betonun içinde ön germe donatısının geçeceği hatta delik bırakmak için kullanılan metal veya plastikten yapılmış borudur.

Aktarma: Öngerme çeliğinin çekilmesiyle oluşan kuvvetin betona aktarılmasıdır.

İlk öngerilme: Öngerilme çeliğinde aktarmadan hemen sonra ve kayıplardan önceki gerilmedir [6].

4. ÖNGERİLMELİ BETON MALZEMELERİ

Öngerilmeli betonda kullanılan malzeme, özel malzeme gurubu olarak dikkate alınmalıdır. Klasik betonarme inşaatta kullanılan malzemenin kullanılması doğal gibi görülebilirse de gerek beton kalitesinin yüksek olması, gerekse yüksek dayanımlı çelik kullanılması malzemeyi birinci plana çıkarmaktadır.

Standart en az C25 dese de C30, C35 ve daha yüksek performanslı betonlar kullanılmalıdır. Bu betonlarda zamana bağlı şekil değişim etkileri normal betona göre çok daha düşüktür. Örneğin yüksek performanslı betonda rötrenin normal betona göre %70-80'i kadar olduğu bilinmektedir. Betonarmede beton çekmeye çalıştırılmaz. Öngerilmeli betonda da çekme gerilmesi istenmez. Basınç dayanımı yüksektir. Rötire sonucu doğan deplasmanlar öngerilmeli beton yapılarda gerilme kayıplarına ve hiperstatik sistemlerde zararlı yönde iç kuvvet değişmelerine neden olabilir. Öngerilmeli beton daha taze iken yüksek basınç gerilmelerine maruz kalacağından, 28 günlük basınç dayanımının 40 Mpa civarında tutulması gerekir. Betonlama sırasında kabloların deplasmanına mutlak surette engel olunmalıdır. Bütün delikler yapıştırıcı bir bantla tıkanmalı, beton şerbetlerinin, kılıfların ve ankrajların içine tesiri önlenmelidir. Aksi taktirde, kılıf içinde katılaşan beton şerbeti, öngerilmenin doğru olarak yapılmasına engel olur. Çimento olarak TS19'a uygun normal portland tipi çimento, agrega TS706'ya uygun, su TS500'e uygun olmalıdır.

Betonda katkılardan, özelliklede kalsiyum klorürlü katkılardan kaçınılmalıdır. Betonun hazırlanışı TS 802, TS 1247 ve TS 1248'e uygun olmalıdır.

Öngerilme telleri gerildikten sonra, kablo ile kılıfın aderansını temin etmek amacıyla, kılıf boşluklarına ankraj noktalarından enjekte edilen, akıcı kıvamda bir nevi beton karışımdır. Akıcılık minimum su ile sağlanmaya çalışılmalıdır. Amaç, donatıyı paslanmaya karşı korumak ve betonla donatı arasındaki aderansı temin etmektir. Bunun için hava ve su boşlukları bırakmaksızın bütün kanalları doldurmalı, çeliğe zararlı hiçbir bileşimi içermemelidir. Sertleştikten sonra 25 MPa'lık bir dayanıma erişmelidir.

Çeliğin öngerilmeli betonda çekme elemanı olarak çok önemli yeri vardır. Çelik öngerilmeli betonda iki ayrı şekil ve fonksiyonda kullanılır. Bunlardan birincisi adi donatıdır. Herhangi bir noktada veya kesitte, normal gerilme ve kayma gerilmesi çifti varsa, Mohr gerilme diyagramına göre bunlara tekabül eden asal gerilmeler çifti vardır. Bunlardan biri muhtemelen çekmedir. Betonun çekmeye çalıştırılması istenmeyen bir durum olduğundan bu çekmenin uygun şekilde tertiplenmiş bir donatı ile karşılanması gerekir. Bunun içinde betonarmede olduğu gibi enine donatı kullanılır. Adi donatı olarak adlandırılan bu donatıların yüksek dayanımlı olmasına gerek yoktur.

Öngerilmeli betonda kullanılan diğer çelik çeşidi öngerilme donatısıdır. Öngerilmeli beton yapı sistemlerine öngerilme kuvveti uygulaması, yüksek dayanımlı çelik kablolar vasıtasıyla yapılmaktadır. Öngerilme kuvvetleri dış kuvvetlerdir, betonarme kesitlerdeki iç kuvvetlerle karıştırılmamalıdır. Öngerilmeli betonlar için kullanılan çeliklerin dayanımı 160 MPa civarındadır [5, 7].

5. ÖNGERİLMELİ BETONUN AVANTAJLARI

Öngerilmeli betonun avantajlarına baktığımızda ilk olarak beton elemanlar, temel ve arazi çalışmaları sırasında önceden dökülebildiği ve taşıtlardan alınarak doğrudan doğruya kullanıldığı için, inşaat mahallinde geçen süre ve işçi gereksinimleri azalır. Ayrıca, bütün yıl boyunca inşaatın devam etmesi sağlanır ve hava koşullarından kaynaklanan gecikmeler minimuma indirilir.

Her iki boyutta uzun açıklıklar, kolonlardan bağımsızlığıyla, esneklik ve alanın engellenmemiş kullanımını sağlar. Yüksek kaliteli çelik ve betonun beraber kullanılması ve bu sayede ağırlığın azaltılarak büyük açıklıkların ekonomik olarak geçilebilmesini sağlar. Kesitin bütün yüksekliğinin çalışmasının temini ve bu sayede narin ve cazip elemanlar yapılabilmesi. İç kuvvetlerin istenildiği durumda olmasını temin edebilmek ve bu sayede sehimleri istenilen mertebede tutabilmek ve çatlama durumuna hakim olabilmek. Öngerilmeli betonun yangına dayanıklılığı, can ve mal güvenliğiyle sigorta ücretlerinin düşmesini de sağlar. Öngerilmeli beton zeminler ve duvarlar, kütleleri dolayısıyla, hava yoluyla iletilen gürültüleri belirgin olarak azaltır [1, 5].

6. ÖNGERİLMELİ BETON YÖNTEMLERİ

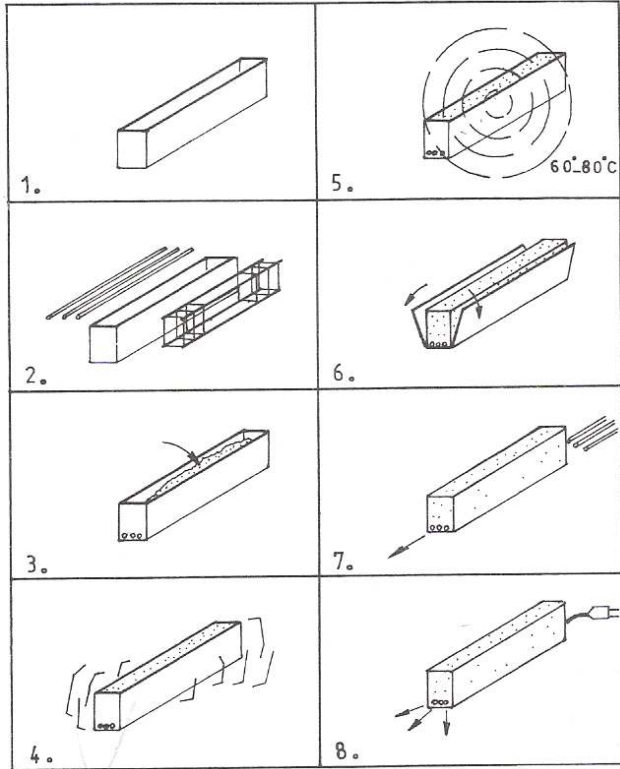
Öngerilmeli beton gerilim uygulanış tekniğine göre ikiye ayrılır. Bunlar, "ön çekmeli" öngerilmeli beton ve "art çekmeli" öngerilmeli betondur.

Buraya kadar önceden öngerilmeli betonu tanımlamaya çalıştık. Art çekmeli öngerilmeli uygulamaya bakarsak; Burada çelik, betona aderansını önleyen borular içine konulur veya herhangi bir yolla örtülür, kalıplar vasıtasıyla yerleştirilir ve beton dökülür. Beton sertleştikten sonra çelik gerdirilir ve kirişin uç kısımlarından ankrajlanır. Borularda kalan boşluk, çeliği korumak ve çelik ile beton arasında aderansı sağlamak için, genellikle, beton şırınga edilerek doldurulur. Daha basit bir ifade ile önceden öngerilmeli betonda demetler beton dökülmeden önce, sonradan öngerilmeli betonda ise beton sertleştikten sonra gerdirilir.

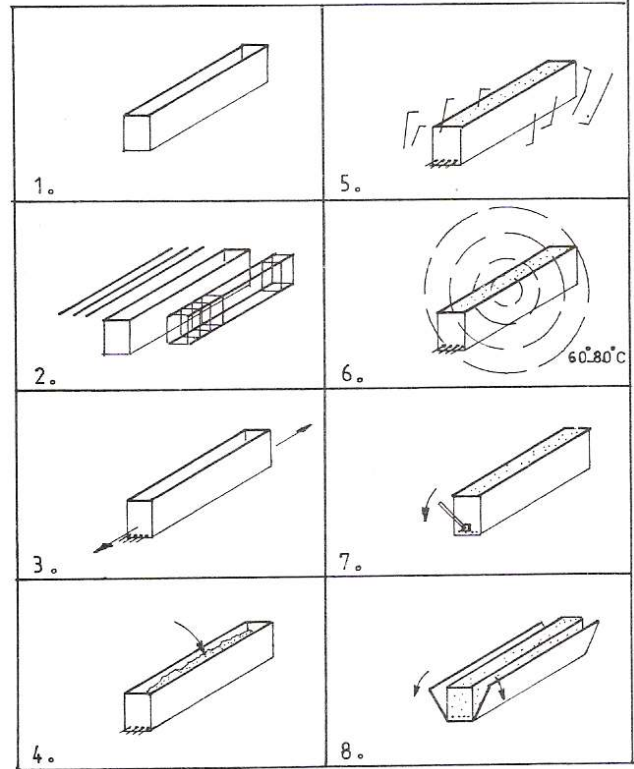
7. ÖNGERİLMELİ BETON ÜRETİM AŞAMALARI

7.1. Art Çekmeli Öngerilmeli Beton

Art çekmeli uygulamada yapılanlar şekil 5’de gösterilmiştir. Buna göre birinci olarak kalıp temizlenir ve yağlanır. Ardından normal donatıların ve öngerme donatı kılıflarının yerleştirilmesi yapılır. Üçüncü aşamada beton dökülür ve vibrasyonla sıkıştırılması yapılır. Buhar kürü ile betonun sertleşmesi çabuklaştırılır. Kalıplar sökülür ve öngerilme donatıları kılıflardan geçirilir, donatı gerilir ve beton elemanın uçlarına ankre edilir. Son olarak kılıfların içine ince harç enjeksiyonu yapılır.



Şekil 5. Art çekmeli öngerilmeli betonun üretim aşamaları



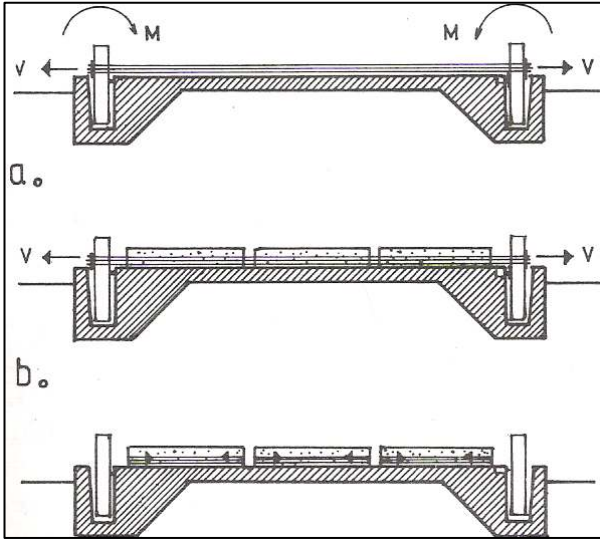
Şekil 6. Ön çekmeli öngerilmeli betonun üretim aşamaları

7.2. Ön Çekmeli Öngerilmeli Beton

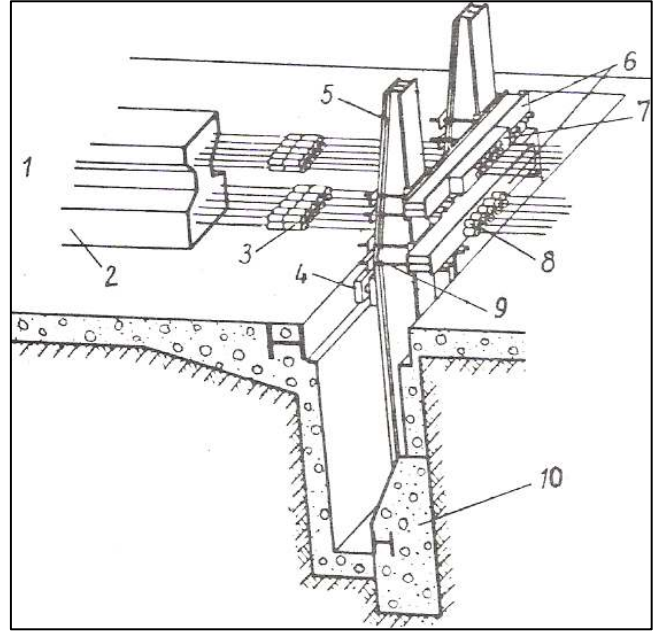
Ön çekmeli uygulamada yapılanlar şekil 6’da gösterilmiştir. Buna göre birinci olarak kalıp temizlenir ve yağlanır. Ardından normal ve öngerilmeli donatıların yerleştirilmesi yapılır. Üçüncü aşamada öngerilme donatıları gerilir ve kalıp başlarına tespit edilir. Beton dökülür ve vibrasyonla sıkıştırılması yapılır. Buhar kürü ile betonun sertleşmesi çabuklaştırılır. Germe donatısının uçları kesilir ve gerilmeler aderans ile betona aktarılır. Son olarak kalıplar sökülür.

Ön çekmeli ön germe yatağında yapılan üretime bakıldığında şekil 7’de de görüldüğü gibi ilk olarak öngerilme donatıları gerilir ve ayaklara tespit edilir. Ardından beton dökülür sıkıştırılır ve buhar kürü ile sertleştirilir. Son olarak donatılar kesilir elemanlar birbirinden ayrılır ve gerilmeler aderans ile betona devredilir. Bu tip üretimde yer alan gerdirmeye ayağının detayı şekil 8’de sunulmaktadır. Burada; 1.öngerme yatağı, 2. kiriş, 3. tel sıkıştırıcıları, 4. basınç noktası, 5. düşey gerdirmeye ayağı, 6. enlemesine traversler, 7. delikli plak, 8. sıkıştırma elemanları, 9. ayarlanabilen tespit, 10. temeldir.

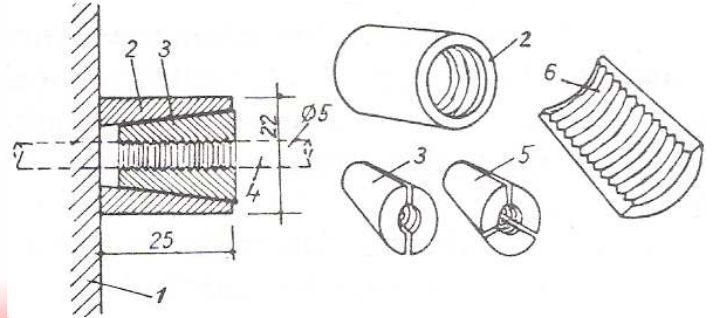
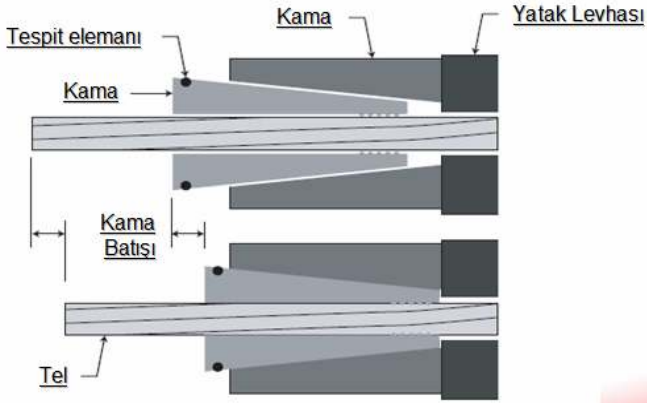
Öngerilme donatılarının yatak içerisinde gerdirilebilmesi için gerdirmeye ayağında sıkıştırılması gerekmektedir. Bu gerdirmeye işleminin yapılabilmesi için şekil 9’daki gibi elemanlara ihtiyaç vardır [8].



Şekil 7. Öngerme yatağında yapılan üretim

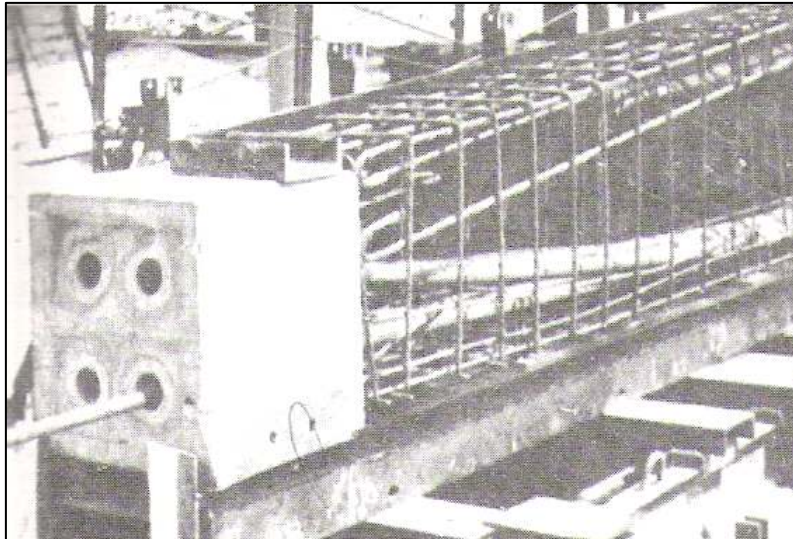


Şekil 8. Gerdirme ayağı



Şekil 9. Öngerme donatısını sıkıştırma elemanı

Şekil 10'a baktığımızda öngerilme verilecek bir çatı kirişinin betonlanmadan önceki durumu görülmektedir. Kılıflar içindeki öngerme donatısı yerleştirilmiş ve ön yapım kiriş başlığına dişi ankraj konileri gömülmüştür.



Şekil 10. Öngerilmeli beton uygulaması -çatı kirişi-

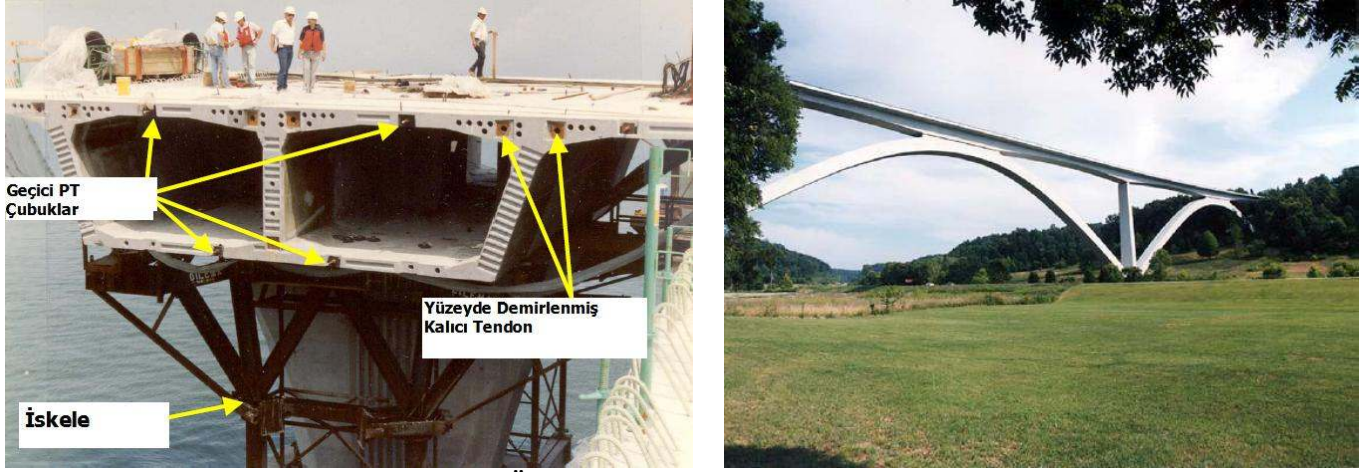


Şekil 11. Öngerilme donatılarının çekilmesi



Şekil 12. Ön germe ve art germe uygulamaları

Öngerilmeli beton uygulamaları ağırlıklı olarak büyük sanayi yapılarında, köprü ve viyadük ayaklarında ve kirişlerinde, borularda olmaktadır. Şekil 11’de öngerilme donatılarının çekilmesi görülmekte, şekil 12’de ve 13’de ise ön germe ve art germe uygulamaları görülmektedir[9, 10].



Şekil 13. Ön germe ve art germe uygulamaları

SONUÇ VE ÖNERİLER

Basınç dayanımı karşısında çekme dayanımı düşük olan betonun donatı takviyesi ile betonarmeye dönüşümünün ileri aşaması olan öngerilmeli beton teknolojisi taşıyıcı sistemlerin daha ekonomik, daha estetik ve daha kullanışlı bir seviyeye gelmesini sağlamıştır. En çok kullanılan taşıyıcı sistem malzemesi olan betonarmeye karşı yeni teknolojiler ortaya çıkana kadar mevcut durumun iyileştirilmesi adına geliştirilmiş olan öngerilmeli beton teknolojisi mühendislik ihtiyaçlarını karşılamakta ve gelişen teknoloji ile daha da ileri noktalara ulaşacaktır.

KAYNAKLAR

1. Özden, K., Eren, İ., vd. "Öngerilmeli Beton", İTÜ Yayınları Sayı:1603, İstanbul, 1998.
2. Özden, K., "Öngerilmeli Beton ve Hesap Esaslarına Kısa Bir Bakış", I. Öngerilmeli Beton ve Uygulamaları Semineri, İTÜ, İstanbul, 5 Aralık 1986.
3. Kumbasar, N., "Betonarme Elemanlarda Donatı Düzenleme", Seminer Notları, İstanbul, 2003.
4. Topçu, A., "Betonarme I Sunu Ders Notları" Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2006.
5. Topçu, İ.B., "Beton Teknolojisi", Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yayınevi, Uğur Ofset, 1. Basım, s, 171, Eskişehir, 2006.
6. TS3233, "Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları", TSE, Ankara, 1979.
7. Celasun, H., "Öngerilmeli Beton", İDMM Akademisi Yayınları Sayı:123, İstanbul, 1974.
8. Ayaydın, Y., "Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar", Kurtiş Matbaası, İstanbul, 1989.
9. PCI, "Bridge Design Manuel", Chicago, 2006.
10. Corven, J., Moreton, A., "Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manuel", Federal Highway Administration, Washington, 2004.