

50927

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON ÇELİK ÇUBUKLARININ ISI ETKİLERİNE KARŞI MEKANİKSEL
VE KİMYASAL YÖNDEN ANALİZİ İLE EKONOMİK DURUMUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Salih Taner YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Yrd.Doç.Dr. M. Şükrü YILDIRIM

**ELAZIG
1996**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON ÇELİK ÇUBUKLARININ ISI ETKİLERİNE KARŞI MEKANİKSEL
VE KİMYASAL YÖNDEN ANALİZİ İLE EKONOMİK DURUMUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Salih Taner YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

Bu tez,.....tarihinde, aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/
oy çokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman
(İmza)

Üye
(İmza)

Üye
(İmza)

.....
Yrd.Doç.Dr. M. Şükrü YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**BETON ÇELİK ÇUBUKLARININ ISI ETKİLERİNE KARŞI MEKANİKSEL VE
KİMYASAL YÖNDEN ANALİZİ İLE EKONOMİK DURUMUNUN
ARAŞTIRILMASI**

Salih Taner YILDIRIM

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

1996, Sayfa:

Betonarme yapılarda beton kolon ve kirişlerin içerisine yerleştirilen, yapı tekniğinde yaygın bir şekilde kullanılan beton çeliklerinin kısa ya da uzun süreli yüksek sıcaklıklarda ısı etkileri altında kalmaları durumunda; bunların mekanik ve kimyasal açıdan nasıl bir değişikliğe uğrayacağı ve bunun yapı tekniğinde maliyet açısından yapımcıya nasıl bir yük getireceğinin araştırılması yapı tekniğinde büyük önem taşımaktadır.

Birçok beton türü, kısa süreli olmak kaydı ile, oda sıcaklığından 150-200 °C 'ye kadar olan sıcaklığa bağlı ısıl zorlanmalara kolaylıkla karşı koyarken, bu sıcaklıkların aşıldığı durumlarda, yapısal değişimlerin etkileriyle, beton ve çelik büyük ölçüde mukavemet ve bütünlüğünü kısmen yitirme eğilimi göstermektedir. Süresi ne olursa olsun, yüksek sıcaklıklarda ısıl etkiler altında kalan betonarme bir yapının elemanlarında

hissedilir ölçülerde mekanik ve kimyasal değişiklikler çıkar. Bu değişiklikler sonucunda hem beton ve hem de çelik, önceden sahip oldukları, yapı tekniği açısından büyük değer taşıyan birçok önemli özelliklerini kaybeder.

Bu tezde; Elazığ yöresinden temin edilen bir agregayla üretilen, belirli mukavemet değerine sahip beton çeliklerinin çekirdek olarak seçildiği bir betonarme kolon modeli üzerinde, normal çevre koşullarının üzerindeki sıcaklıklarda çelik ve betonun mekanik ve kimyasal özelliklerinin nasıl değiştiği deneysel olarak araştırılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkan değişimin getireceği tahribat ve mali yük tahmin edilmeğe çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, beton çeliği, ısıtma işlemi, mukavemet ve süneklilik değişimi, ekonomik değerlendirme.



III

SUMMARY

Msc Thesis

INVESTIGATIONS OF MECHANICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HEAT EXPOSED CONCRETE STEELS AT ELEVATED TEMPERATURES AND THE ECONOMIC ASPECTES

Salih Taner YILDIRIM

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Construction Education

1996, Page:

The strengths of concrete and concrete steels decrease at high temperatures. Therefore, steels which we lay in concrete colons or beams lose their resistances if they stand under high temperature effects for a long or enough time. It is interesting that we examine the chemical and mechanical properties of a high grade heat exposed concrete steel in colons or beams and we estimate the supplementary cost because of heat effects on concrete and steel.

We can use a construction from concrete and steel at temperatures until 150-200 °C successfully, if they expose heat effect in this temperature interval for a short time. Because of the change of the concrete's and steel's microstructures concrete loses its resistance, strength and completeness while steel loses its strength and stability.

IV

At elevated temperatures the chemical and mechanical properties of concrete steel constructions change rapidly so that after structural changing not only the concrete but also steel lose their serious properties which are very important for building and construction.

In this study we lay a standard stretch bar in a concrete colon model, which we produced from an Elazığ region's aggregate. Concrete and steel both together stood under high temperature effects between 500-800 °C. We tested the high temperature behaviours of concrete steel construction's elements and we try to estimate the buliding's damage after high temperature effects and the supplementary cost which results from high temperature effect.

Keywords: Concrete, concrete steel, heat treatment, heat and fire resistance, change of mechanical and chemical properties, economic aspectes.



TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında benden her türlü yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. M. Şükrü YILDIRIM 'a, bölüm başkanım Sayın Yrd.Doç.Dr. Mehmet TUĞAL 'a, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü atelyelerinden yararlanmamı sağlayan bölüm başkanı Sayın Prof.Dr. Ataman HAKSEVER 'e, Makina Mühendisliği atelyelerinden yararlanmamı sağlayan bölüm başkanı Sayın Prof.Dr. Kazım PIHTILI 'ya, kalıpların ve deney parçalarının hazırlanmasında yardımcı olan Teknik Eğitim Fakültesi teknisyenleri Cemil BAKIR ve Zülfü KARAASLAN 'a, basınç deneylerinin yapılmasında yardım eden İnşaat Mühendisliği Bölümü teknisyeni Seyfettin ÇİÇEK 'e, mekanik muayenelerin yapılmasında yardımlarını gördüğüm Makina Mühendisliği Bölümü teknisyenleri Şerif Görgün ve Cengiz ERHAN 'a; her zaman yanımda olup deneylerimin aksamadan yapılmasında katkıları bulunan tüm diğer öğretim üye ve yardımcılara teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	Sayfa I
KURZFASSUNG.....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ.....	XVIII
SİMGELER LİSTESİ.....	XX

BÖLÜM I

1.GİRİŞ.....	1
--------------	---

BÖLÜM II

2. BETONARME YAPI ELEMANLARI.....	3
2.1. Beton Çelikleri.....	3
2.2. Beton.....	4
2.2.1. Çimento.....	7
2.2.2. Beton agregaları.....	9
2.2.3. Karma suyu.....	10
2.3. Beton Sınıfları ve Dayanımları.....	11
2.4. Mukavemet ve Süneklik Ölçme Yöntemleri.....	13
2.4.1. Basınç dayanımı.....	13
2.4.2. Beton çeliğinin mukavemet ve sünekliğinin belirlenmesi.....	14
2.5. Isıl Etkiler.....	15
2.5.1. Tav fırınları.....	21
2.5.2. Isıl işlem türleri.....	22
2.5.3. Fırın içi ısı geçişi.....	23
2.6. Çimento Kimyası.....	24
2.6.1. Hidrat fazları.....	24
2.6.1.1. Kalsiyum silikat hidratlar.....	24
2.6.1.2. Kalsiyum alüminat hidrat, kalsiyum ferrit hidrat, hidrogranat..	26
2.6.1.3. Kalsiyum alüminat sülfat hidratlar.....	27

VII

2.6.2. Hidratasyon seyri.....	27
2.6.2.1. Katılacak su miktarı.....	27
2.6.2.2. Katılma (pekleşme, piriz alma).....	28
2.6.2.3. Sertleşme.....	29
2.6.2.4. Hidratasyon ısısı.....	31
2.6.3. Sertleşmiş çimentonun özellikleri.....	33
2.6.3.1. Hidrat suyu bağı.....	33
2.6.3.2. İç yapı.....	33
2.6.3.3. Çekme, şişme-yumuşama etkileri.....	34
2.6.3.4. Sünme özelliği.....	35
2.6.3.5. Kimyasal dayanıklılık.....	35
BÖLÜM III.....	37
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
3.1. Deney Hazırlıkları ve Malzeme Seçimi.....	37
3.2. Deney Uygulamaları.....	39
BÖLÜM IV.....	41
4. DENEY SONUÇLARI.....	41
4.1. Çeliklerden Deney Sonucu Elde Edilen Değerler.....	41
4.2. Çeliklerde Mukavemet Özelliklerinin Beton Kalınlığı, Sıcaklık ve Süreye Bağlı Değişimi.....	69
4.2.1. BÇ I çeliğinde mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	69
4.2.2. BÇ III çeliğinde mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	77
4.3. Çeliklerde Süneklik Özelliklerinin Beton Kalınlığı, Sıcaklık ve Süreye Bağlı Değişimi.....	91
4.3.1. BÇ I çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	91
4.3.2. BÇ III çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	98
4.3.3. BÇ IV çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	105

VIII

4.4. Betonlarda Mukavemet Özelliklerinin Değişimi.....	112
4.4.1. Betonlarda mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi.....	112
BÖLÜM V.....	120
5.SONUÇLAR,EKONOMİKLİK VE ÖNERİLER.....	120
KAYNAKLAR.....	122



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1. Su-Çimento oranlarına göre değişik çimento türlerinin 28 günlük basınç dayanımı değişimi.
- Şekil 2.2. Efektif akma gerilmesi değerinin ve young elastisite modülünün çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak değişimi.
- Şekil 2.3. Değişik beton örtüsüz çelik çubuklarda maksimum çekme gerilmesi değerinin sıcaklığa bağlı değişimi.
- Şekil 2.4. Isıl işlem diyagramı.
- Şekil 2.5. Kalkerce fakir kalsiyum silikat $CaO/SiO_2 \leq 1.3$
- Şekil 2.6. Kalkerce fakir kalsiyum silikathidrat, hidrat, $CaO/SiO_2 \geq 1.3$
- Şekil 2.7. Tobermoritlerin kristal yapısı.
- Şekil 3.1. 2.5 x 2.5 x 20, 4.5 x 4.5 x 20, 6.5 x 6.5 x 20'lik kalıplara dökülen betonlarda kullanılan agreganın granülometri eğrisi.
- Şekil 3.2. 8.5 x 8.5 x 20, 10.5 x 10.5 x 20'lik kalıplara dökülen betonlarda kullanılan agreganın granülometri eğrisi.
- Şekil 4.1. 500 °C ' de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.2. 500 °C ' de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.3. 700 °C ' de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.4. 700 °C ' de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.5. 800 °C ' de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.6. 800 °C ' de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

- Şekil 4.7. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.8. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.9. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.10. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.11. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.12. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.13. 500 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.14. 500 °C ' de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.15. 700 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.16. 700 °C ' de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.17. 800 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

- Şekil 4.18. 800 °C ' de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.19. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.20. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.21. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.22. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.23. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.24. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.25. 500 °C ' de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.26. 500 °C ' de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.27. 700 °C ' de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.
- Şekil 4.28. 700 °C ' de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

Şekil 4.29. 800 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

Şekil 4.30. 800 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

Şekil 4.31. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.32. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.33. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.34. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.35. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.36. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.37. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

Şekil 4.38. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

Şekil 4.39. Fırın içerisinde 700 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

XIII

Şekil 4.40. Fırın içerisinde 700 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

Şekil 4.41. Fırın içerisinde 700 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

Şekil 4.42. Fırın içerisinde 800 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

Şekil 4.43. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.44. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.45. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.46. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.47. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.48. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.49. Fırın içerisinde 500 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

Şekil 4.50. Fırın içerisinde 500 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

- Şekil 4.51. Fırın içerisinde 700 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.
- Şekil 4.52. Fırın içerisinde 700 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.
- Şekil 4.53. Fırın içerisinde 800 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.
- Şekil 4.54. Fırın içerisinde 800 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.
- Şekil 4.55. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.56. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.57. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.58. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.59. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.60. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.61. Fırın içerisinde 500 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

- Şekil 4.62. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.
- Şekil 4.63. Fırın içerisinde 700 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.
- Şekil 4.64. Fırın içerisinde 700 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.
- Şekil 4.65. Fırın içerisinde 800 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.
- Şekil 4.66. Fırın içerisinde 800 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.
- Şekil 4.67. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.68. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.69. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.70. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.71. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.72. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

- Şekil 4.73. 500°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.74. 500°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.75. 500°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.76. 700°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.77. 700°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.78. 700°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.79. 800°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.80. 800°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.81. 800°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.
- Şekil 4.82. Fırında 1 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.
- Şekil 4.83. Fırında 3 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.84. Fırında 5 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



TABLolar LİSTESİ

- Tablo 2.1. Mukavemetlerine göre, beton çeliklerinin yaklaşık kimyasal bileşim değerleri.
- Tablo 2.2. Çimento sınıfına göre, hazırlanan betonda, basınç dayanımının zamana bağlı değişimi.
- Tablo 2.3. Beton sınıfları ve dayanımları.
- Tablo 2.4. Mangan takviyeli üstün dayanım özellikli iki beton çeliğinin bileşim ve mukavemet değerleri.
- Tablo 2.5. Çimento Türleri ve Hidratasyon Isısı Değerleri.
- Tablo 2.6. Portland çimentosunda mevcut fazlar ve hidratasyon ısısına katkısı.
- Tablo 3.1. Yeniköy Agrega Ocağı'ndan alınan agrega örneğinin özellikleri.
- Tablo 4.1. 500 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.2. 500 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.3. 500 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.4. 700 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.5. 700 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.6. 700 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.7. 800 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.8. 800 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.9. 800 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.10. 500 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.

- Tablo 4.11. 500 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.12. 500 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.13. 700 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.14. 700 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.15. 700 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.16. 800 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.17. 800 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.18. 800 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.19. 500 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.20. 500 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.21. 500 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.22. 700 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.23. 700 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.24. 700 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.25. 800 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.26. 800 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.
- Tablo 4.27. 800 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.

SİMGELER LİSTESİ

- A : Kopma uzaması,
 α : Isı geçiş katsayısı,
 C : Çimentonun ağırlığı,
 d_0 : Çeliğin maksimum çekilmeden önceki ilk çapı,
 d_k : Çeliğin koptuktan sonraki ölçülen çapı,
 E_c : Betonun elastisite modülü,
 F : Numunenin yüzey alanı,
 F_c : Çeliğin kesit alanı,
 G_c : Betonun elastisite modülü,
 γ_t : Sıcaklık profil hesabı için kısmi emniyet faktörü,
 γ_h : Sıcaklık-zaman güvenilirliği için kısmi emniyet faktörü,
 γ_s : Yapısal güvenilirlik için kısmi emniyet faktörü,
 L_0 : Çeliğin çekilmeden önceki boyu,
 L_k : Çeliğin çekildikten ve koptuktan sonraki boyu,
 σ_a : Çeliğin akma gerilmesi,
 σ_c : Betonun karakteristik çekme dayanımı,
 $\sigma_{B,k}$: Eşdeğer küp basınç dayanımı,
 $\sigma_{B,s}$: Karakteristik silindirik basınç dayanımı,
 σ_{max} : Çeliğin maksimum çekme gerilmesi,
 P_A : Çeliğin akma yükü,
 P_{max} : Çeliğe uygulanan en büyük çekme yükü,
 t : Soğutma süresi,
 t_c : Yapı elemanının sıcaklık etkisi altındaki çökme süresi,
 t_e : Beklenen yangın direnç süresi,
 t_f : Yangın tahammül süresi,
 T : Numunenin herhangi bir anda sahip olacağı sıcaklık,
 T_0 : Numunenin ilk sıcaklığı,
 W : Suyun ağırlığı
 Z : Kesit daralması,

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Sürekli ya da aralıklı olarak ısı etkisine maruz kalan malzemelerde fiziksel özelliklerin ve özellikle mukavemetin değiştiği ve azaldığı bilinen bir gerçektir.

Malzemelerde ısı etkisinin şiddetine ve zamana bağlı olarak mukavemetin değişmesi, böyle malzemelerin uzun süre güvenilir bir şekilde kullanılabilirliği konusunda bazı tereddütlere yol açmaktadır.

Çevremizde mevcut köprü, baraj gövdesi, apartman daireleri, beton yollar gibi betonarme yapılar aylarca ve yıllarca sürekli ısı değişimi etkilerine maruz kalırlar. Ancak, çevre sıcaklıklarındaki değişim, gün boyu en çok 30 - 50 °C 'lık bir farkı aşmadığından bu yapılardaki beklenen zamana bağlı mukavemet düşüşleri 5-10 yıllık bir yapı ömrü için ihmal edilebilecek boyutlarda kalır.

Öte yandan modern endüstride termik reaktör gövde betonları, sanayi üretim ve tav fırınları betonları, döküm ve ergitme ocakları betonları ile bunlarla temas halinde bulunup, sürekli ısı ve ateş (yangın) etkilerine maruz yapılarda yüksek ısı etkileri ve uzun süreli etkileşim, betonarme yapının hem beton ve hem de çelik aksamında zaman içerisinde mukavemet özelliklerinin düşmesine neden olur.

Sürekli ısı etkileri altındaki betonarme bir yapıda; statik hesaplar ne kadar güvenilir bir şekilde yapılırsa yapılsın, yapının geçen süre içerisinde hem beton ve hem de çelik aksamında beklenen mukavemet değerindeki azalmalar bu hesapları geçersiz kılabilir.

Betonarme bir yapı üzerinde etkileyen ısı; betonu oluşturan agrega taneleri ile çimento matriksi arasındaki aderansın zaman içerisinde azalmasına, beton bileşenlerinin kimyasal ve yapısal değişimine neden olur. Bununla beraber, beton yüzeyinde çatlakların oluşmasına, mukavemetin düşmesine, çelik çubukların betonla oluşturduğu aderansın

zayıflamasına ve daha sonraki ısı etkilerinin betonun derinlemesine iç kısımlarına kadar işleyip ilerleyerek onu tamamen tahrip etmesine yol açar.

Isının betonarme yapı içerisinde bulunan çelik üzerindeki etkisi, açıkta bulunan çelik konstrüksiyonlardakinden biraz daha farklı olmaktadır. Sürekli yüksek sayılabilecek sıcaklıklardaki ısı etkileri çeliklerde sertlik, çekme dayanımı ve akma sınırı gibi mukavemet özellikleri azalırken; çelikler kısmen yüksek sıcaklık korozyonu etkileri altında kalmaktadır. Isı etkileri çelikte görülen tane irileşmesi, bunların yumuşamalarına ve zaman içerisinde kullanılamayacak duruma gelmelerine neden olmaktadır.

Krom-nikel-molibden ve krom-mangan esaslı çeliklerin ısı etkilerine dayanıklı oldukları bilinmekle beraber, bu çeliklerin çok pahalı oluşları nedeni ile, özel haller dışında beton çeliklerinin yerine kullanılmaları ekonomik olmamaktadır.

Piyasada bol bulunan yapı çeliklerinin kısa ve uzun süreli ısı etkilerine maruz kaldığı durumların incelenmesi, ısı işlemlerin betonarme yapı üzerinde ortaya çıkaracağı etkilerin belirlenmesi teknolojik açıdan, yukarıda sıralanan nedenlerle, büyük önem taşımaktadır.

Bu tezin amacı, muhtelif kalitede betonarme çeliklerinin değişik kalınlıklardaki beton içerisinde sıcaklık ve zamana bağlı olarak mukavemet değişimlerinin ve yüksek çalışma sıcaklıklarında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

BÖLÜM II

2. BETONARME YAPI ELEMANLARI

2.1. Beton Çelikleri

Beton çelik çubukları; betonarme yapılarda beton donatısı olarak kullanılan, dairesel kesitli, yüzeyi düz, nervürlü veya profilli çelik çubuklardır. Bu çeliklerin standartlarla verilen özellik ve ölçülerde bulunması gerekir (TS 708, DIN 488, DIN 1045).

Düz yüzeyli çelik çubuklarda yüzey düz olup, bunlarda betonla kenetlenmeyi (aderansı) arttırıcı nervür ve profiller bulunmaz. Buna karşılık nervürlü ve profilli çelik çubukların yüzeyinde yüzey kenetlenmesini arttırıcı, enine, boyuna ya da eğimli girinti ve çıkıntılar bulunur.

Alaşımsız beton çeliklerinin sıcak ve soğuk haddelemeye üretilmeleri esnasında görülen sıcak ve soğuk deformasyon etkileri ve uygulanan ısı işlemlere göre, mukavemet değerleri farklılıklar gösterir. Örneğin bu işlemlerden sonra çeliğin akma sınırı 200 ila 500 (N/mm²) arasında değişen değerler alabilir.

Bu çeliklerin iyi kaynak edilebilmeleri, yüzeylerinde tufal (ayrılabilen pas tabakası), çatlak, çentik ve gözle farkedilebilir çap farklılıkları bulunmaması, aranılan özelliklerdendir. Öte yandan beton çelik çubuklarının katlanabilir, eğilebilir ve bükülebilir olması gerekir.

Nervürlü veya profilli çubuklarda ayrıca aderans katsayısının en az 1.4, çatlak katsayısının da yine en az 1.3 olması istenir. Şekil değiştirme yeteneği için önemli bir büyüklük olan maksimum çekme gerilmesinin akma gerilmesine olan oranının da en az 1.2 olması tercih sebebidir.

Beton çelikleri, kimyasal bileşim itibarı ile alaşımsız sade karbonlu çelikler gurubuna girerler. Bu çeliklerde genellikle % 0.5 oranına kadar

ve ekonomik olmalarında aramak gerekir. Beton; bir yandan endüstrideki hızlı gelişmeye cevap verirken, diğer yandan da değişen koşullara uygun yenilenebilme özellikleri, yeni yapı tarz ve yöntemlerinin geliştirilmesine uygunluğu açısından vazgeçilmez bir inşaat malzemesi konumunda bulunur (Hilsdorf, 1992).

Beton standartlarına göre beton; çimento, agrega ve su ile üretilen ve ayrıca belirli özelliklerini etkilemek ve iyileştirmek için beton katkıları kullanılabilen yapı elemanı olarak tanımlanır (TS 500, DIN 1045).

Taze betonda çimento ve su karışımı; işlenebilirlik, tanelerin sıkı bir şekilde tutunma özelliği, sertleşen betonda agrega tanelerinin bağlanması suretiyle, betonda arzulanan mukavemet ve rijitliğin ortaya çıkmasını sağladığından, beton inşaat malzemesi olarak bu iki maddeden ibaret olarak görülür. Bu nedenle, taze beton çimento bağlayıcı ile katkılardan, sertleşmiş beton da çimento matriksi ile katkılardan ibaretmiş gibi değerlendirilir. Bu görüş altında taze beton ve sertleşmiş betonların sahip olacakları özellikleri açıklamak mümkün olabilir.

Çimento hamurunun, agregaların ve agregalarla çimento hamuru arasındaki bağlayıcılık özellikleri esas itibarı ile betonun özelliklerini etkileyen temel değişkenlerdir. Ayrıca, betonun basınç dayanımını etkileyen diğer önemli faktör de su/çimento (W/C) oranının uygun seçimi ile çimento hamurunun ve agregaların birbiriyle iyi kenetlenmesidir (Bonzel, 1982; Hilsdorf 1992).

Tablo 2.1. Mukavemetlerine göre, beton çeliklerinin yaklaşık kimyasal bileşim değerleri. (Keskin, 1986)

Standart Formül	Minimum Çekme Geril. σ_c (N/mm ²)	Minimum Akma Geril. σ_s (N/mm ²)	Maximum Akma Geril. σ_s (N/mm ²)	Kimyasal Bileşim
Fe 34	340	220	320	% 0.17 C (max), % 0.06 P, S, < % 0.30 Si, < % 0.4 Mn
Fe 37	370	240	350	% 0.20 C (max), % 0.06 P, % 0.05 S, < % 0.30 Si, < % 0.4 Mn
Fe 42	420	270	390	% 0.25 C (max), % 0.08 P, % 0.05 S, < % 0.30 Si, < % 0.4 Mn
Fe 45	450	290	420	% 0.25 C (max), % 0.30 Cr, < % 0.05 P, < % 0.05 S, < % 0.40 Si, < % 0.5 Mn
Fe 50	500	320	470	% 0.30 C, < % 0.08 P, < % 0.05 S, < % 0.50 Si, < % 0.5 Mn
Fe 55	550	355	510	% 0.35 C, < % 0.08 P, < % 0.05 S, < % 0.50 Si, < % 0.5 Mn
Fe 60	600	390	560	% 0.4 C, < % 0.08 P, < % 0.05 S, < % 0.50 Si, < % 0.50 Mn
Fe 70	700	450	650	% 0.50 C, < % 0.05 P, < % 0.05 S, < % 0.50 Si, < % 0.5 Mn

2.2.1. Çimento

Çimento; ince öğütülmüş, su katkısı ile havada sulu ortam içerisinde sertleşen ve sertleşmiş halini koruyan bir bağlayıcı malzemedir. Diğer bağlayıcı elemanlardan yüksek basınç dayanımı özelliği ile ayrılır.

Yapı, özellik, kullanım ortamları ve üretim teknikleri açısından portland, demir-portland, yüksek fırın curufu, trash, sülfatlı, düşük hidratasyon ısılı olmak üzere değişik tür ve kalitelerde çimento üretimi yapılmaktadır.

Çimentonun sıkı, sağlam ve dayanıklı yapısı; harç ve beton bileşimi ile bunların üretim esnasında gördükleri işlem ve uygulamalara bağlıdır. Su katılmış çimentoda katılaşarak mukavemetlenme özelliğine, sertleşme denir. Bu iki olay bir çok başka etkenlere bağlı, aynı türden özelliklerdir. Harcın katılaşmadan önce işlenmesi ve ön hazırlanması gerekir. Standartlara göre, katılaşmanın 1 saatten önce başlamaması ve 10,12 saati aşmayacak şekilde tamamlanması gerekir (TS 19, DIN 1164). Çimentolarda bu yönde ortaya çıkan uygunsuzlukların kaynağını su, çimento oranının(W/C) iyi ayarlanamaması, betonun kimyasal bileşimi, değişik çimento katkıları, ısı etkileri, betonun taşınmasındaki gibi bazı problemler oluşturabilir. Katılaşmanın başlaması açısından en uygun süre, 20 °C 'de 2 saatin ve 30 °C 'de de 1 saatin üstü olarak verilir.

Çimentonun sertleşme yeteneği, kısa ve uzun sürelerde eriştiği mukavemet değeri ve standart süre olan 28 günde ulaşabildiği basınç mukavemeti değeriyle belirlenir. Gözeneksiz bir çimento numunesinin basınç dayanımı ortalama 200 [N/mm²] dolaylarında bulunurken; sıcak preslenmiş, kısmen hidratasyona uğramış bir çimento numunesinde bu değer 600 [N/mm²] 'ye kadar ulaşabilmektedir. Çimento matriksinin çok yüksek mukavemet değerlerinde, betonda gevrek davranış ortaya çıktığından, çok yüksek mukavemete sahip betonların yapı tekniğinde kullanılmaları zorlaşmaktadır.

Tablo 2.2. 'de 450 gr. kısım çimento, 1350 gr. standart kum (TS 819), 225 gr. kısım su kullanılarak üretilen bir çimento harcının basınç mukavemet değişimi verilmiştir (TS 24).

Standartlar betonda ulaşılan ortalama basınç mukavemeti değerinin tablodaki basınç basınç mukavemeti değerlerinden en çok ± 5 [N/mm²] 'lık bir sapmaya müsaade etmektedir.

Çimento sınıflarını erken veya geç sertleşen çimento türleri şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Başlangıçta yüksek mukavemete ulaşan çimentolar düşük sıcaklıklarda üretilecek betonlarda erken yüklemeye olanak tanırken; zamanla sertleşen çimentolar masif yapılarda ve kütle beton inşaatlarında önem taşırlar.

Çimentonda; kireç(CaO), magnezyum(MgO) ve alçı(SO₃) etkileri ile kuruma halinde çekme, su alma halinde şişme ve sürekli yük altında sünme gibi olumsuz özellikler göstermemesi ve yeterli incelikte öğütölüp hazırlanması gerekir.

Tablo 2.2. Çimento sınıfına göre, hazırlanan betonda, basınç dayanımının zamana bağlı değişimi. (Bonzel, 1982)

Beton Sınıfı, Sertleşme Özelliği		Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
		2 Gün (En az)	7 Gün (En az)	28 Gün	
				En az	En çok
BS 25	—	—	10	25	45
BS 35	Yavaş	—	18	35	55
	Hızlı	10	—	35	55
BS 45	Yavaş	10	—	45	65
	Hızlı	20	—	45	65
BS 55	—	30	—	55	75

2.2.2. Beton Agregaları

Beton Agregalarını kırılmış ya da kırılmamış, aynı veya farklı irilikte, doğal ya da yapay mineral maddeler; özel hallerde metal ya da değişik kökenli maddeler oluşturur. Agregalar cins ve tane iriliklerine göre sınıflandırılırlar. Örneğin, agregalar boşluk karakteristiklerine göre gözenekli ve boşluksuz şeklinde ayrı ayrı incelenmektedir. Bunlardan gözenekli olanların birim hacim ağırlığı 1.5 kg/dm^3 , boşluksuz olanların da $2.5\text{-}3.2 \text{ kg/dm}^3$ olmaktadır. Gözenekli beton agregaları hafif beton yapımında, boşluksuz agregalar da normal ve kütle beton yapımında kullanılmaktadır.

Beton agregalarının belirli özelliklere sahip olmaları gerekir. Bunlar; agregayı oluşturan kayacın özellikleri, zararlı maddelerin azlığı, agrega taneciklerinin yüzey özelliği ve şekli, iri tane ve tane dağılımı oranı (granülometrik bileşim) ve betonun homojenliği ile ortaya çıkan özelliklerdir.

Agreganın özelliği onu oluşturan kayaların özeliğine bağlı kalır. Doğal agregada kayacın türü ve yatağın özellikleri, yapay agregada da agreganın türü ve üretim şekli etkili olur. Agregataneleri istenen beton mukavemetine ulaşmayı sağlayacak ve nemli halde $100 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ lık basınç dayanımı verecek agregadan üretilen beton katkıları gerçekte istenen mukavemet değerlerini karşılar.

Beton agregalarının su emdiklerinde bozulup dağılmayacak şekilde dış etkilere dayanıklı olması, donma halinde normal durumunu koruması gereken hallerde kimyasal etkilere dirençli olması istenir. Doğal agrega bu isteklerin hemen hemen tamamına cevap verebilmektedir.

Betonun dış etkilere dayanıklılığı kadar, kendi iç yapısı açısından da olumlu özellikte olması istenir. Bu nedenle agreganın ayrışan, diğer elemanlara zarar veren ve beton içindeki korozyonu hızlandıran bileşikler içermemesi gerekir.

Zararlı beton elemanları; organik kökenli kumlar, sertleşmeyi engelleyen maddeler, kükürtlü bileşikler, camsı kalıntılar, suda çözünen bileşikler ve rijitliği olmayan diğer maddelerdir.

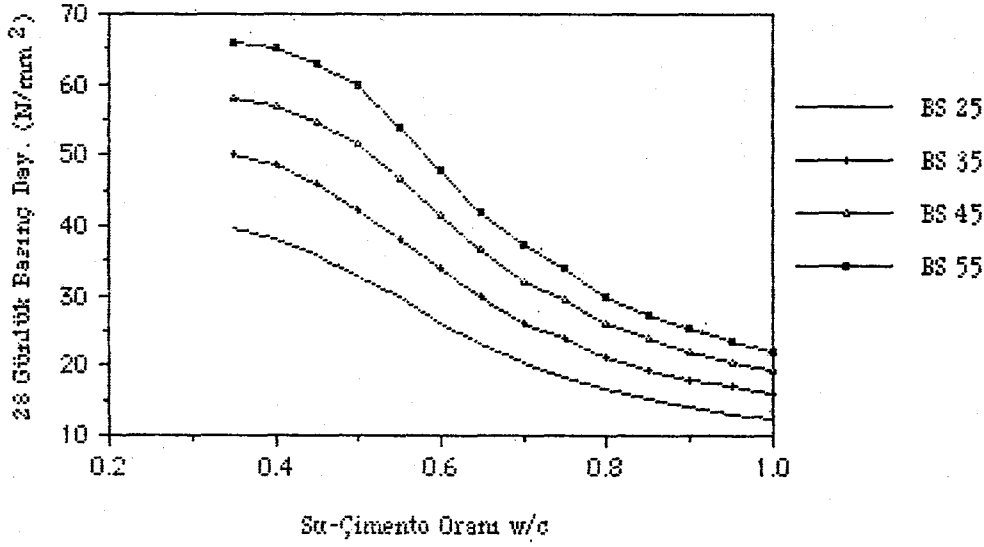
Betonlarda yapısal bütünlüğe ve standartlarla istenilen özelliklere kavuşmak için agreganın toparlak olması, düz ve uzun yapılı(kusurlu) olmaması, yüzeyinin pürüzlü olması ve agregatanelerinin belirli granülometrik bileşimi sağlaması gerekir. Betonlarda kullanılacak agregaların depolanmasında da, agregaya zararlı maddelerin karışmaması ve yapısının korunmasının iyi denetlemesi icap eder.

Beton agregalarının aderans, işlenebilirlik, mukavemet, yoğunluk ve dayanıklılığı arttırma ve renk verme gibi amaçlarla özel katkılar da kullanılmaktadır. Bunların esas itibarı ile zamanla betonun yapısını bozmaması, korozif etkileri arttırmaması, zararlı bileşiklere dönüşmemesi gerekir. Bu özel katkılar mineral veya organik esaslı olmaktadır. Teknikte, mineral unları, pigmentler, yapay reçineler v.b. maddeler özel katkı elemanları olarak kullanılmaktadır.

2.2.3. Karma Suyu

Agreganın nemi ve katılan su, harç suyunu meydana getirir. Beton üretiminde su/çimento (W/C) oranının korunmasına özen gösterilir.

Şekil 2.1. 'de de görüldüğü gibi artan su/çimento (W/C) oranı ile sertleşen betonun 28 günlük süre sonundaki basınç mukavemeti; oranın 0.4-0.8 arasındaki değerlerinde hızla düşerken, daha sonra ulaşılan basınç mukavemeti değerlerinde büyük bir farklılık gözlenmez. Su miktarının sabit tutulduğu, ama çimento içeriğinin arttığı durumlarda betonun basınç mukavemetinde dikkate değer ölçülerde artışlar ortaya çıkar. Bu artışın nedeni de, su/çimento oranının küçülmesi ve buna bağlı olarak çimento hamurunun yapı özelliklerinin değişmesidir (Bonzel, 1967).



Şekil 2.1. Su-Çimento oranlarına göre değişik çimento türlerinin 28 günlük basınç dayanımını değişimi.

2.3. Beton Sınıfları ve Dayanımları

Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı, taban çapı 15 cm. ve yüksekliği 30 cm. olan, suda $20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 28 gün bekletilen standart çubuklardan elde edilir. Silindirik çubuklar yerine $20 \times 20 \times 20$ [cm] ölçülerinde küp numuneler de kullanmak mümkündür.

Çekme dayanımı; çatılma olması istenmeyen kaplar, borular ve bazı plakalarda önemlidir. Çekme dayanımı doğrudan basınç dayanımından aşağıdaki bağıntı yardımı ile elde edilir:

$$\sigma_t = 0.35 \sqrt{\sigma_{B,s}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Bu eşitlikte, $\sigma_{B,s}$ silindirik numuneden elde edilen basınç dayanımını ve σ_t de karakteristik çekme dayanımını göstermektedir.

Betonun elastisite modülü E_c :

$$E_c = 3250\sqrt{\sigma_{B,s}} + 14000 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

ve kayma modülü G_c de:

$$G_c = 0.4 \times E_c \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

bağıntıları ile hesap edilir.

Tablo 2.3. Beton sınıfları ve dayanımları. (TS 500)

Beton Sınıfı	Karakteristik Silindirik Basınç Day. $\sigma_{B,s}$ (N/mm ²)	Eşdeğer Küp Basınç Day. $\sigma_{B,k}$ (N/mm ²)	Karakteristik Çekme Day. σ_c (N/mm ²)	Elastisite Modülü E_c (28 günlük) (N/mm ²)
BS 14	14	18	1.3	26150
BS 16	16	20	1.4	27000
BS 20	20	25	1.6	28500
BS 25	25	30	1.8	30250
BS 30	30	35	1.9	31800
BS 35	35	40	2.1	33200
BS 40	40	45	2.2	34550
BS 45	45	50	2.3	35800
BS 50	50	55	2.5	36950
Not: İlk dört grup beton normal beton, diğerleri de yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanır.				

2.4. Mukavemet ve Süneklik  l me Yöntemleri

2.4.1. Basıncı dayanımı

Genel anlamda mukavemet, birim y zeve isabet eden, katı maddede ayrılma, kopma, çatlama ve kırılma gibi etkilere yol açan direnç kuvveti olarak tanımlanır. Betonlarda basınç dayanımı standart boyutlardaki silindir veya küp numunelerin, belirli yükleme hızlarında parçanın kırılmasını sağlayan en büyük yük değerinin belirlenmesi ile hesaplanır.

Beton davranışları hakkında yorum yapılırken, betonun homojen bir madde olmadığı, sadece onu oluşturan  imento ve agreganın düzenli dağılımının söz konusu olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Agreganın hemen her betonda farklı mineral ve tanelerden meydana geldiği, tanelerin farklı şekil ve büyüklüğe sahip olacağı, hazırlanan betonun içinde kılcal boşlukların ve gözeneklerin bulunabileceği unutulmamalıdır. Yapıdaki bütün farklılıklar, beton içerisinde düzensiz gerilim ve zorlanmaları beraberinde getirir. Hatta bu nedenle, beton içerisinde yerel gerilme y ğılmaları ve buna bağlı olarak buralarda çatlaklar ortaya çıkabilir. Agregaların iri taneli, köşeli olması ve iri taneli agregalar arasındaki uzaklığın fazla olmaması halinde betonda iç gerilmeler artmaktadır.

Beton içindeki kuvvet dağılımı oldukça karmaşık olup, esas itibarı ile agreganın şekil değiştirme özelliği, mukavemeti, miktarı ile birbirleri ile bağlanabilme yeteneğine bağlıdır. Alışılagelmiş karışım oranlarındaki mineral esaslı agregata katkılı betonda, mukavemet ve elastisite modülü değerleri çimentodan daha yüksektir. Çünkü, agregalar dış basınç kuvvetinin etkilerini hep birlikte karşı koyarak dengede tutarlar. Çimento hamuruna göre, daha yüksek bir direnç gösterirler. Değişik kuvvetler etkisi ile betonda üç boyutlu bir gerilme durumu ortaya çıkar. Bu gerilmeler de eksenel ve yanal şekil değişimine neden olurlar. Basıncı kuvvetinden ileri gelen zorlama sonucu oluşan kayma ve çekme kuvvetleri  imento hamuru ile agregata arasındaki aderans ve  imento tarafından taşınamayacak boyutlara ulaştığında numune kırılır. Alışılagelmiş betonlarda basınç kuv-

veti öncelikle çimento matriksi mukavemetinin büyüklüğüyle belirlenirken, eksenel şekil değişimi değeri de basınç deneyinde agreganın şekil değiştirme yeteneği tarafından belirlenir. Bu ilişkiler, kalın çimento katlı, fazla sıkı olmayan, şekil değiştirme yeteneğine sahip agreganın kullanıldığı hafif betonlarda daha farklıdır. Bunlarda, çimento matriksinin özellikleri, yanal şekil değişimi özelliği üzerinde aşırı derecede etkili olur.

2.4.2. Beton çeliğinin mukavemet ve sünekliliğinin belirlenmesi

Beton çeliklerinin mukavemet ve sünekliliklerinin belirlenmesi; TS138'e göre boyutlandırılan, ilk boyu L_0 , ilk çapı d_0 olan, boyu çapının 5 veya 10 katı olan kısa ve uzun standart çubuklarla yapılır. Çekme çubuklarının başları, çekme makinasının çeneleri arasında sıkıştırılarak statik çekme yüküne maruz bırakılır. Yük ile uzama arasında önce doğrusal bir ilişki gözlenir.

Elastiklik sınırının aşılması ile birlikte, çekme esnasında yükün kısa süreli azalıp artması şeklinde bir akma gözlenir. O andan itibaren yükte fazla bir artma olmazken, uzamada çok hızlı bir artış meydana gelir. Akma sınırı olarak kabul edilen bu sınırdan itibaren numune kalıcı şekil değişimine uğrar. Yük bir maksimum değere ulaşır, daha sonra düşmeye başlar ve boyun verir. Parça da bu arada hızla uzar, belli bir notadan itibaren inceler ve nihayet incelendiği noktadan kopar.

Bir çekme deneyi ile metalik malzemelerin maksimum çekme dayanımı, akma sınırı, kopma uzaması, kesit daralması ve elastisite modülü değerleri hesaplanabilir.

1. Akma gerilmesinin hesabı:

Çeliğin akma gerilmesi σ_A ;

$\sigma_A = P_A / F_\varphi$ [N/mm²] ve $F_\varphi = \pi \cdot d_0^2 / 4$ [mm²] olup, burada;

P_A = Çeliğin akma yükü [N],

F_φ = Çeliğin kesit alanı [mm²],

σ_A = Çeliğin akma gerilmesi [N/mm²],

d_0 = Çeliğin çekilmeden önceki ilk çapı [mm] 'dir.

2. Çekme gerilmesinin hesabı:

Çeliğin çekme gerilmesi σ_{max} ;

$\sigma_{max} = P_{max} / F_{\phi}$ [N/mm²] olup, burada;

P_{max} = Çeliğe uygulanan en büyük çekme yükü [N],

σ_{max} = Çeliğin maksimum çekme gerilmesi [N/mm²] 'dir.

3. Kopma uzamasının hesabı:

Kopma uzaması A;

$A = [(L_K - L_0) / L_0] \cdot 100$ [%] olup, burada;

L_0 = Çeliğin çekilmeden önceki ilk boyu [mm],

L_K = Çeliğin çekildikten ve koptuktan sonraki boyu [mm] 'dir.

4. Kesit daralması (incelme)'nin hesabı:

Kesit daralması (incelme) Z;

$Z = [1 - (d_K / d_0)] \cdot 100$ [%] olup,

d_K = Çeliğin koptuktan sonraki ölçülen çapı [mm] 'dir.

2.5. Isıl Etkiler

Metalik olan ve metalik olmayan tüm malzemelerin oda sıcaklıklarında sahip oldukları mukavemet ve süneklik özellikleri yüksek sıcaklıklarda kısmen veya tamamen kaybolmaktadır. Termokimyasal veya termomekanik temellere dayanan bu değişim, malzemelerin daha sonra benzer uygulamalar için kullanımlarını imkansızlaştırmaktadır.

Alaşımız sade karbonlu tüm çeliklerde ve beton çeliklerinde 300 °C'nin üzerindeki ısı etkileriyle, bu sıcaklıktan itibaren, malzemenin aşınma dayanımı, akma sınırının altına ve nihayet sıfıra kadar düşer (Bodur,1974). Isıl etkilerle, örneğin alev ya da bir ısı kaynağı ile doğrudan veya dolaylı temas yoluyla beton ve beton içerisindeki çelik çubukta mukavemet ve süneklik özelliklerinde değişimler beklenmelidir. Teknikte 250 °C sıcaklık-

lara kadar dayanıklı ısı dirençli beton türleri geliştirilmiştir. Isı etkilerine dayanıklı olan bu betonların uzun süre 250 °C 'nin üzerinde tutulması mahsurludur. Özel kireç taşlarından ve yüksek fırın curuflardan imal edilen, ısıl genleşme katsayıları diğer betonlara göre düşük olan bu betonların, söz konusu sıcaklıklarda kullanılmadan önce yüksek sıcaklıklara ısıtılmasında sıcaklık gradyanı, betonun çekme dayanımının aşılmasına ve betonda ayrılmalara neden olmamalıdır (Schrage vd. 1974).

Yapı elemanlarının yangın (ateş) etkilerine maruz kalması ile mukavemet özelliklerinin değişmesi, onun yangın ya da ısı etkisinin derecesine ve etkiye süresine göre boyutlandırılmasını gerektirir (Sakumoto vd., 1994; Haksever, 1990).

Tüm yapılarda kullanılan konstrüksiyon elemanlarının, öncelikle kolon ve kirişlerin, üç yanlı ya da dört yanlı olarak yangın etkilerine maruz kalmalarına göre olması gereken en düşük genişlik ve kalınlık değerleri, desteklerin minimum uzaklıkları, konsol ve kirişlerin konumları, kesit ölçülendirmeleri, yangın duvarları ve yangın kesicilerin boyutlandırılmalarının standartlar çerçevesinde yapılması gerekir (Wesche, 1991; Kordina vd., 1983).

Çelik konstrüksiyonlardan oluşan otoparklar, fabrika ve ambar binaları, hangarlar v.b. yapıların çatılarında ve taşıyıcı kolonlarında; çelik konstrüksiyonun çevrenin nem ve asit yağmuru gibi koroziye etkilerine ve rüzgarla taşınan toz taneciklerine karşı koruması kadar, yangın etkilerine dayanıklılıkları ve bu etkilerle mukavemet özelliklerini yitirmemeleri de ayrıca büyük önem taşır (Haksever, 1991, Haksever vd. 1983). Nitekim bu amaçla son yıllarda gelişmiş ülkelerde yangın direncini artırıcı ve aynı zamanda konstrüksiyonu yangın etkilerinden koruyucu değişik tip ve kalitede örtü malzemeleri geliştirilmiştir (Lin, T.D. vd., 1988). Bu örtü katlarından epoksi reçine, katı yün ve seramik, köpük (perlit) esaslı olanların kullanımları yaygın olup, etkili bir koruyucu tabakanın ısı iletim katsayısının düşük, iç yapısının gözenekli olması, örtünün çelik konstrüksiyonun yüzeyine iyi tutunması ve zorlamalarla kolay kalkmaması gerekir. Örtü katları kolay hazırlanabilmeli, ucuz olmalı, yük ve gerilme etkileri altında çelik konstrüksiyonu ısı ve yangın etkilerinden koruyabil-

meli, gerektiğinde kısa süreli 650-700 °C gibi yüksek sıcaklık etkilerinde bile rijit kalabilmelidir (Sakumoto vd. 1994).

Bazı elementlerin katılması ile dayanımları arttırılmış beton çelikleri, alaşımsız beton çeliklerine göre daha yüksek mukavemet özellikleri göstermekte ve böyle çelikler 600 °C 'ye kadar akma sınırlarını mükemmel bir şekilde koruyabilmektedirler. Tablo 2.4. 'te mangan elementi ile güçlendirilmiş iki farklı kalitede beton çeliği örnek olarak verilmiştir. Kopma uzaması % 30 dolaylarında bulunan bu çeliklere ait mukavemet değerleri de yine aynı tabloda mevcuttur.

Tablo 2.4. Mangan takviyeli üstün dayanım özellikli iki beton çeliğinin bileşim ve mukavemet değerleri. (Sakumoto vd. 1994)

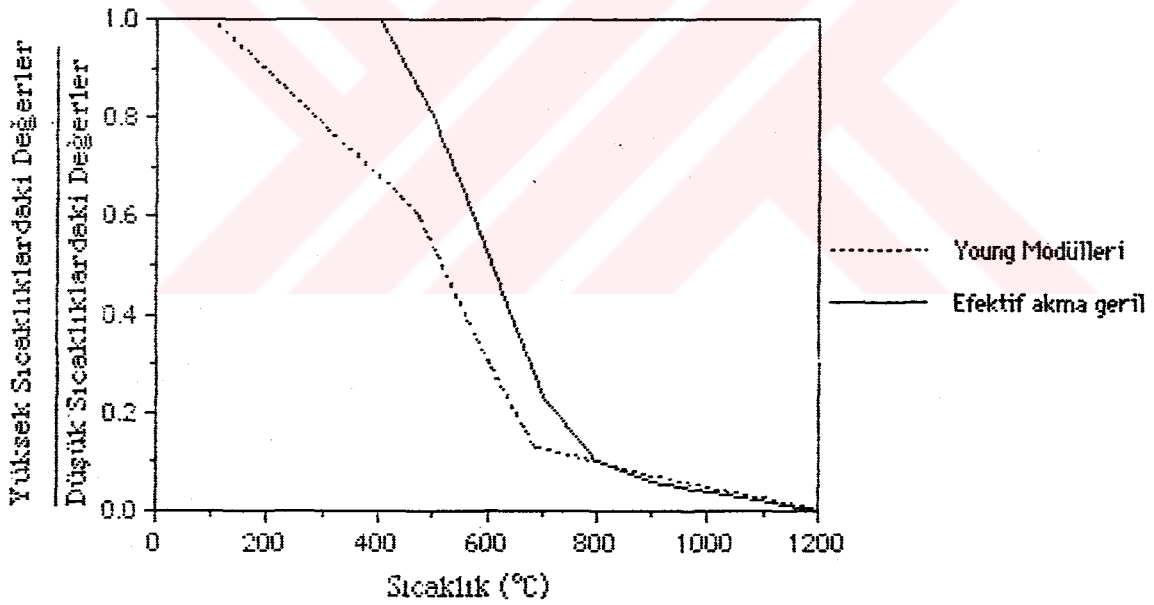
Çelik No	Karbon Oranı [% C]	Silisyum Oranı [% Si]	Mangan Oranı [% Mn]	Fosfor Oranı [% P]	Kükürt Oranı [% S]	Max.Çekme Gerilmesi [N/mm ²]	Akma Gerilmesi [N/mm ²]
1	0.10	0.20	1.11	0.019	0.003	550	410
2	0.16	0.36	1.45	0.019	0.006	550	380

Bir tesiste yangın çıkmasını önleyici önlemlerin alınması kadar, yangının büyümesini, ilerlemesini ve nihayet mümkün olabilecek en kısa zaman içerisinde söndürülmesini sağlayıcı önlemlerin de alınması zorunludur. Yangının çabuk başlayıp hızla ilerlediği iş yerlerinin başında kömür ocakları gelmektedir. Yangının ilerlemesini durdurmak veya en azından geciktirebilmek için günümüzde beton blok ve çelik yangın kesicileri kullanılmaktadır (Lazzara, Ng. vd., 1990). Beton blok kesicilerinin kullanılması halinde, yangından sonra yangına maruz kalan kesici yüzeyindeki ısı genleşmelerin etkisiyle kesici yüzeyinde çatlaklar oluşmaktadır. Çelik zırh tipi kesicilerde çatlama olmamasına karşın, kesicinin alevle temas etmeyen yüzeyindeki sıcaklık, beton kesicilere göre beş veya altı kat daha yüksek olmaktadır. Kesicilerin etkinliği sadece ısıyı az geçirmesiyle değil, aynı zamanda alev ve dumanı da geçirmemesine bağlıdır. Çünkü alevin geçmesi yangının yayılmasına neden olurken, duma-

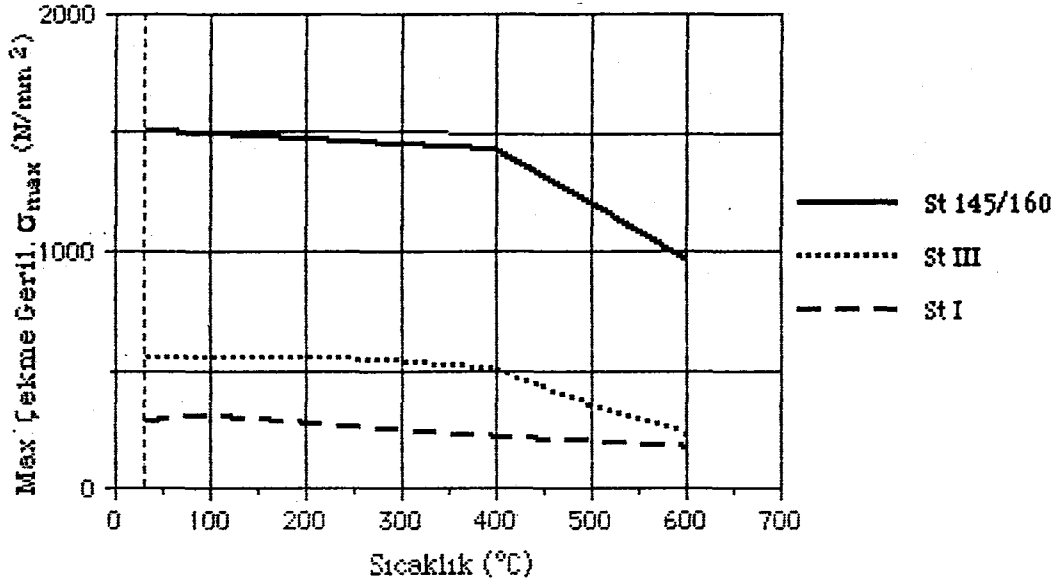
nın geçmesi de orada çalışan insanları ve yaşayan diğer canlı varlıkları etkiler.

Isı ve yangın etkisinde kalan kolonlarda mekanik özelliklerde ve Young elastisite modülü değerinde bir azalma beklenilmelidir (Both vd. 1993). Aynı şekilde, beton örtüsü olmayan çeliklerde artan sıcaklık değeri ile değişik çelik türlerinde maksimum çekme gerilmesi değerleri önce fazla bir düşme göstermezken, 400 °C 'nin üzerinde hissedilir şekilde azalma eğilimi göstermektedir (Özden, 1978).

Yangın alevi etkileri altında kalan kolon ve kirişlerde sıcaklık dağılımı ve buna bağlı yangın direnci yıllarca pek çok araştırmacının ilgi odağı olmuş, bu yolda yapılan çalışmalarda sonlu farklar metodu "finite difference method" kullanılarak kolon ve kirişlerdeki sıcaklık dağılımı ve bunların yangın direnci araştırılmıştır (Lie, 1993-1994).



Şekil 2.2. Efektif akma gerilmesi değerinin ve young elastisite modülünün çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak değişimi. (Both vd., 1993)



Şekil 2.3. Değişik beton örtüsüz çelik çubuklarda maksimum çekme gerilmesi değerinin sıcaklığa bağlı değişimi. (Özden, 1978)

Bugüne kadar yayınlanan makalelerde önerilen hesaplama yöntemleri sınırlı kullanılabilirliğe sahiptir. Çünkü geliştirilen bağıntılar belirli kesit tipleri, seçilmiş yangın direnç sınıfları ve yükleme koşulları için geçerli olmaktadır (Dorn vd. 1993). Yangın hesaplamalarında kullanılabilecek bağıntıların daha kapsamlı olmasının sağlanabilmesi için, taşıyıcı konstrüksiyon elemanlarının karşılıklı olarak birbirlerini etkilemelerinin de dikkate alınması gerekir. Ancak bu yolda beklenen başarı henüz tam olarak elde edilememiştir. Yangına maruz kalan yapı elemanlarının yük taşıma davranışlarını ele alan, gerçeğe yakın sonuçlar veren, iyileştirilmiş hesaplama teknikleri de vardır (Dorn, 1993).

Yangın direncinin saptanmasında; hesaplanan yangın tahammül süresi t_f ile beklenen yangın direnci olan t_e arasında $t_f \geq t_e$ ilişkisi vardır. t_e yapı elemanının sıcaklık etkisi altındaki çökme süresine (t_c 'ye) eşit veya ondan büyüktür. Yangına tahammül süresi ile beklenen çökme süresi arasında,

$$t_f / \gamma_{th} \cdot \gamma_t \cdot \gamma_s = t_c \text{ [saat]}$$

bağıntısı vardır (Purkiss vd. 1989).

γ faktörü; yakıt havalandırma, hesaplanan yapı elemanı sıcaklıklarının değerini, sıcaklık-zaman güvenilirliğini ve belirsizliğini gösteren bir faktördür. Bu faktör, sıcaklık profil hesabı için kısmi emniyet faktörü γ_s , sıcaklık-zaman güvenilirliği için kısmi emniyet faktörü γ_m ve yapısal güvenilirlik için kısmi emniyet faktörü γ_e 'nin çarpımından ibarettir.

Hesaplamalarda; yangın sıcaklığındaki tasarım yükü, çevre koşullarındaki tasarım yükü, yapısal bütünlük için moment değeri, çevresel moment kapasitesi gibi büyüklüklerin de göz önünde bulundurulması ve gerilmenin gerçek koşullarda hesaplanması ve bulunması gerekir. Aksi halde; kesme, kırılma ve eğilmenin belirlenmesi imkânsızlaşır.

Malzemelerin bazı fiziksel özelliklere kavuşturabilmesi için belirli sıcaklıklara kadar ısıtılması, daha önceden esas alınan süreler boyunca bekletildikten sonra, değişik ortam ve hızlarda soğutulması işlemine ısıtım işlemi denir.

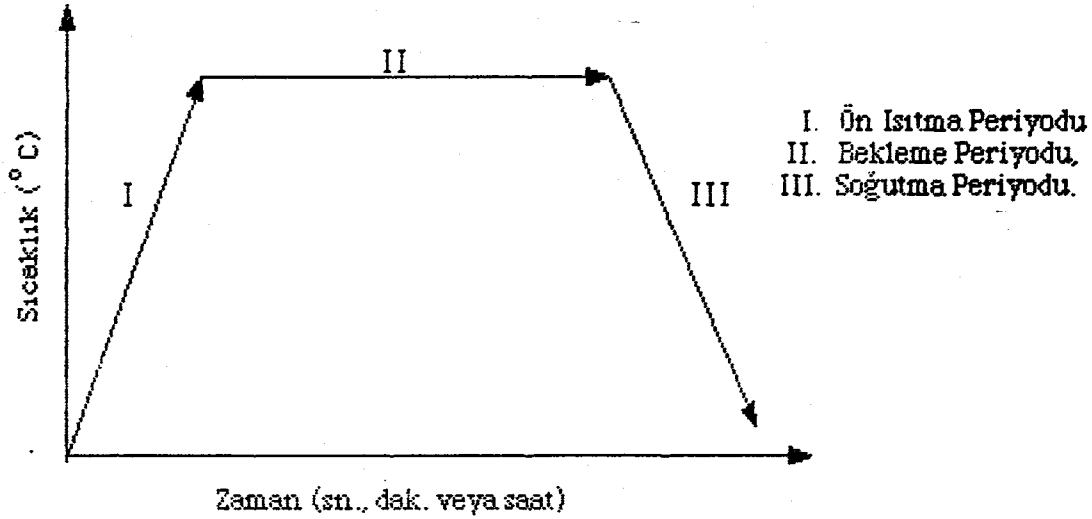
Isıtım işlemler, malzemelere katı haldeyken tav fırınlarında uygulanır. İşlem başlıca üç çalışma periyodundan ibarettir:

a) Ön ısıtma periyodu: Bu periyotta, fırın içerisine konan malzeme tav sıcaklığına kadar yavaş yavaş ısıtılır. Isıtma işlemi soğuk fırında veya önceden ısıtılmış fırında kontrollü olarak gerçekleşir.

b) Bekleme periyodu: Bekleme periyodunda, malzeme beklenen etki sağlanıncaya kadar fırın içerisinde tutulur.

c) Soğutma periyodu: Mikroyapısal (iç) değişim geçiren veya geçirmeye hazır duruma gelen malzeme, belirli ortam ve hızlarda soğutulularak ısıtım işlem sonrası yapısına ve özelliklerine ulaşır.

Ön ısıtma periyodunda ve özellikle soğutma periyodunda, malzemeler termik şokla karşı karşıya kaldığından, özellikle metalik olmayan malzemelerde ısıtım işleminin, çatlama tehlikesi nedeniyle dikkatle yapılması ve düşük ısıtma ya da soğutma hızlarının seçilmesi gerekir. Şekil 2.4. 'te ısıtım işlem diyagramı şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.4. Isıl işlem diyagramı.

2.5.1. Tav fırınları

Tavlama işlemlerinde küçük parçalar için laboratuvar tipi tav fırınları, büyük parçalar için de endüstri tipi tav fırınları kullanılır. Bu fırınlarda ısı izolasyonu büyük önem taşır. Fırının ön tarafında veya üstüne kolay açılıp kapanabilen bir kapak bulunur. Malzemeler fırına elle, bir kısaçla tutularak, ya da otomatik olarak bir makina aracılığı ile yerleştirilir. Fırın çeperleri ısı etkilerine dayanıklı refrakter tuğlalarla, şamot harcı kullanılarak örülmüştür. Isı izolasyonunu sağlayan cam yünü, refrakter tuğla örgüsü ile koruyucu çelik zırh arasına konur. Fırın sıcaklıkları, fırının uygun yerlerinde porselen koruyucu çubuk (boru) içerisine yerleştirilen, termokupllar aracılığı ile ölçülür. Modern tip tav fırınlarında, fırın sıcaklığını $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ya da daha duyarlı bir şekilde sabit tutan termostatlar bulunur. Ayrıca, bunlarda çalışma sıcaklıkları da dijital olarak ayarlanıp, kontrol edilir.

Teknikte yaygın olarak kullanılan tav fırınlarında sıvı, gaz ve katı yakıt enerjisi veya elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Isıtma için gerekli enerjiyi sağlamakta katı, sıvı ve gaz (havagazi, jeneratör gazı, doğal gaz, tüp

gaz, yüksek fırın gazı) yakıtların kullanıldığı fırınlar, genellikle sayıca fazla büyük parçaların ısıtma işlemi gördüğü büyük hacimli fırınlardır ve böyle fırınlar endüstri amaçlı kullanılmaktadır. Bu fırınlarda alevin tavlama malzemeye temas etmemesi, istiflenen malzemeler arasında yeterince aralık bırakılması ve oluşan gazların malzemenin kimyasal bileşimini etkileyip, değiştirmemesi gerekir. Elektrik direnç enerjisi veya nadiren ark enerjisi kullanılarak çalışılan tav fırınları küçük ölçekli işlerin yapılmasında seçilecek en uygun fırınlardır. Bunların atmosferlerinin temiz olması, kolay kontrol edilebilirliği, otomatik işlemlere elverişliliği, alevinin olmaması, malzemenin tav odasının uygun yerlerine konabilmesi fırının avantajlı yönlerini oluştururken; elektrik enerjisinin pahalılığı ve kuruluş maliyetinin yüksekliği de bu fırınların dezavantajlı yönleridir (Wassermann, 1965).

Tav fırınları boyutlandırılırken, göreceği işler ve içerisine konacak malzemelerin büyüklükleriyle işlem kapasitesi dikkate alınmalıdır. Ayrıca yapılacak işlemin türüne ve çalışma süresine göre fırın sayısı belirlenmeli ve otomatik kontrol için gerekli tasarım yapılmalıdır.

2.5.2. Isıl işlem türleri

Isıl işlemin en çok uygulandığı malzemeler çelik malzemelerdir. Çeliklere çalışma sıcaklıkları 300-1200 °C 'ler arasında ve bekleme süreleri de bir kaç saniyeden bir kaç saat veya güne kadar uzayabilen değişik ısıtma işlem teknikleri uygulanabilmektedir. Isıl işlemler; sertleştirme, yumuşatma, süneklik kazandırma, aşınma dayanımı kazandırma, mukavemet artırma, kaynak özelliğini iyileştirme, homojenleştirme v.b. nedenlerle uygulanmaktadır.

Çeliklere 300-500 °C 'lerde uygulanan ısıtma işlemleri bunların iç gerginliklerini atmaları ve işlem görmüşlerse eski yapı ve fiziksel özelliklerine kavuşmaları sağlar. 550-650 °C 'ler arasındaki tavlama ile çelik her türlü gerginlikten tamamen kurtulur. 690-700 °C 'de iyice yumuşar. 723 °C 'nin üzerinde faz dönüşümü beklendiğinden bu sıcaklıktan

itibaren yapılacak işlemlerde normal soğutmalarla malzemelerde iyice yumuşama ve homojenleşme, hızlı soğutmalarda da, çelikte % 0.35 'in üzerindeki karbon oranlarında tamamen sertleşme görülür.

Çeliklere 1000-1200 °C sıcaklıklarda yapılan ısı işlemler genellikle, yapıdaki kükürt, fosfor gibi zararlı kalıntıların homojen dağılımını sağlamaya, talaş kaldırmayı kolaylaştırmaya ve pratikleştirmeye yönelik uzun süreli tav işlemleridir.

2.5.3. Fırın İçi Isı Geçişi

Fırına konan soğuk bir malzemenin yüzeyine ısı geçişi kısmen ısınım (radyasyon), kısmen iletim (kondüksiyon) ve kısmen de konveksiyonla (akışkan ortam iletimi) yolu ile gerçekleşmektedir. Düşük sıcaklıklarda ısı geçişi tamamen iletim ve konveksiyonla olmakta ve 700 °C 'nin üzerinde ısınımla ısı geçişinin payı hızla artmaktadır.

Fırın içerisindeki ısı geçişinin düzenli olmasının sağlanabilmesi için, numunenin dört yanından aynı ısı etkiye maruz bırakılması ve gerektiğinde hava sirkülasyonu ile konvektif ısı taşınımının hızlandırılması gerekir.

İşlemin ilk anında numunenin yüzeyi ile içi kısmı arasındaki sıcaklık farkının oluşturduğu gradyanın ($dT/dt > 0$) etkisi ile ısı yüzeyden içe doğru ilerler. Belirli çalışma süresi sonunda, numunenin içi ile dışı arasındaki sıcaklık farkı ihmal edilecek boyutlara iner ve gradyant da sıfıra yaklaşır ($dT/dt \approx 0$).

Numune fırından dışarıya alındığında, bu kez de yüzeyi soğuyacağından, içeriden dışarıya doğru bir sıcaklık gradyanı elde edilir. Numunenin her bir yanı çevre sıcaklığına ulaşınca kadar soğuma devam eder.

Tav fırınlarından dışarıya alınan numuneler soğurken ya da fırında ısıtılırken, eğer faz dönüşümü söz konusu değilse, numunelerin herhangi bir anda sahip olacağı sıcaklık T ; ilk sıcaklığı T_0 , ısı geçiş katsayısı α , parça

yüzey alanı F ve ısıtma ya da soğutma süresi t 'ye bağlı olarak eksponeziyal (e-fonksiyonu) olarak değışir:

$$T = T_0 \cdot e^{-\alpha \cdot F \cdot t} [^{\circ}\text{C}]$$

Bu eşitlik, Newton soğutma yasasıyla elde edilen sürekli soğuma eğrisinin denklemidir. Isıtmada işaret artı olarak alınır. Denklemden, yüzeyi ne kadar büyük ve soğutma süresi de ne kadar uzun olursa, ulaşılacak sıcaklık değeriinin de o ölçüde farklı çıkacağı sonucuna varılır.

2.6. Çimento Kimyası

Çimentonun katılaşması ve sertleşmesi, harç suyu ile çimento bileşenleri arasında ortaya çıkan reaksiyonlar sonucunda oluşan hidrat suyu içerikli bileşiklerin varlığından kaynaklanmaktadır (Locher, 1969). Çimento, reaksiyonlar sonucunda hidratize olarak ılık bir pastaya dönüşür ve reaksiyonlar çok ince bir su katmanını içerisinde gerçekleştirir. Çimento ve harç agrega ve katkı maddeleri ilavesiyle sağlanır.

Çimento hamurunun yapısı, hidratasyon ürünlerinin oluşumu, ürünlerin üç boyutlu düzeni ve dağılımı, yapı sıklığı; harç ve betonun başta mukavemet özellikleri olmak üzere tüm fiziksel özellikleri üzerinde etkili olur.

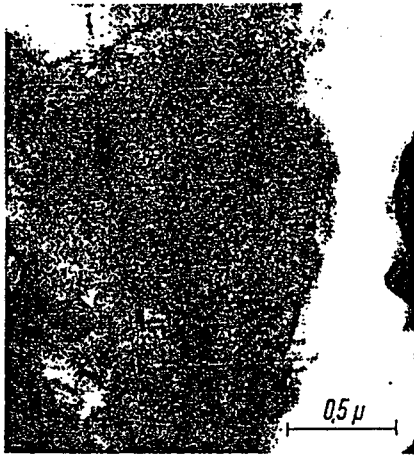
2.6.1. Hidrat fazları

2.6.1.1. Kalsiyum silikat hidratlar

$\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ üçlü denge sistemlerinin 20 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta incelenmesinden, CaO/SiO_2 oranının çözelti ile dengede bulunan kalsiyum silikat hidratlarının artan kalsiyum hidroksit içeriği ile sürekli olarak 0.83 değerinden 1.5'e çıktığı görülmektedir (Locher, 1969). Söz konusu oranın 0.83 değerini aldığı durumda oluşan hidrat bileşiğinin kimyasal formülü $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Bu bileşiğe kimyasal teknolojide tobermorit adı

verilir. Trikalsiyum silikat ve dikalsiyum silikat, su veya kalsiyum hidroksit çözeltisinde çalkalanırsa; CaO/SiO_2 oranı en çok 1.5 olacak şekilde kalsiyum silikat hidrat meydana gelir. Bu koşullar altında oluşan kalsiyum silikat hidratlar, doymuş kalsiyum hidroksit çözeltisiyle dengede bulunan kalsiyum silikat hidratlara göre kireç açısından daha zengindirler. Azalan su miktarı ile CaO/SiO_2 oranının değeri 2.0'nin çok üzerine çıkar. Kireç açısından fakir, CaO/SiO_2 oranı 1.3 olan kalsiyum silikat hidratların mikroyapısı elektron mikroskobu altında incelendiğinde, katılaşmanın folyo (ince tabakalar) şeklinde olduğu; buna karşılık kireç (kalsiyum) açısından zengin kalsiyum silikat hidratların mikroyapısının iğneli ve kundura kalıbı biçiminde katılaştığı görülmektedir. Bu yapıların yuvarlanmış folyo biçimli borucuklar olduğu tahmin edilmektedir (Bak Şekil 2.5 ve 2.6).

Kalsiyum silikat hidratların kristal yapısının tobermoritle aynı olduğu kabul edilir. Bu sistemde $[\text{CaO}_2]^{2-}$ in oluşturduğu çift merkezi bir çift kat, her iki yanından $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tetraederlerinden oluşan üçlü bir zincirle sarılır. Değişen kireç içeriğinin açıklanmasında, Ca^{2+} ve $[\text{OH}]^-$ iyonlarının tobermorit yapısının boş yerlerine yerleştikleri kabul edilir. Bu durumda $[\text{CaO}_2]^{2-}$ nin bir yanında $[\text{SiO}_4]^{4-}$ zinciri hiç bulunmaz. Öyle ki, tobermorit tabakaları kalsiyum hidroksit tabakaları ile uyum içerisinde gelişir.



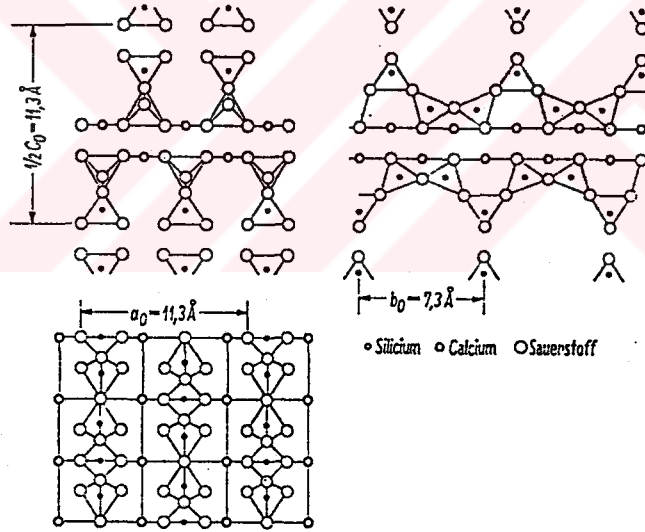
Şekil 2.5. Kalkerce fakir kalsiyum silikat $\text{CaO/SiO}_2 \leq 1.3$ (Locher, 1969)



Şekil 2.6. Kalkerce fakir kalsiyum silikathidrat, hidrat, $\text{CaO/SiO}_2 \geq 1.3$ (Locher, 1969)

2.6.1.2. Kalsiyum alüminat hidrat, kalsiyum ferrit hidrat, hidrogranat

Kireç ve alüminyumoksitçe zengin çözeltilerden bileşime bağlı olarak geçici kararlı yapıda, hegzagonal levha biçiminde tetra kalsiyum alüminat hidrat $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ ya da aynı şekilde yine geçici kararlı hegzagonal dikalsiyum alüminat hidrat $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ kristalleşir. Her iki bileşik de farklı kristal yapı çeşitleri içerisinde ortaya çıkabilmekte ve belli sınırlar içerisinde birbiri içerisinde çözünüp katı çözelti oluşturabilmektedir. Çözelti ile temas etmeleri durumunda, bu bileşikler yavaş yavaş kararlı kübik trikalsiyum alüminat hidrata $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, kalsiyum hidroksite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve hidrargillite $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$ dönüşürler. Düşük sıcaklıklarda ayrıca geçici kararlı yapıdaki monokalsiyum alüminat hidrat $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ bileşiği de ortaya çıkar.



Şekil 2.7. Tobermoritlerin kristal yapısı. (Locher, 1969)

Gecici kararlıdaki alüminyum hidratlar değişik hidratasyon kademeleri gösterirler. Örneğin, tetrakalsiyum alüminat hidrat çözelti ile denge halinde iken $19 \text{ H}_2\text{O}$ içerirken, hafif kurutulduğunda $13 \text{ H}_2\text{O}$ içerecek şekilde hidrat suyunu kaybeder.

Tetrakalsiyum alüminat hidratdaki alüminyumun yerine, üç değerlikli demir geçebilir. Bu katı çözelti dizisinin en son basamağını tetra kalsiyum ferrit hidrat $4\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3.14\text{H}_2\text{O}$ oluşturur. Yine kübik trikalsiyum ferrit hidrat da bu katı çözelti zincirinin son basamağında oluşan bileşikse de tam bir saflık değeri elde edilemez. Ancak ortaya çıkan bu alüminat ve ferrit hidratlar kalsiyum alüminat granatlarla $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{SiO}_2$ ve kalsiyum ferrioksit $3\text{CaO}.\text{Fe}_2\text{O}_3.3\text{SiO}_2$ granatlarla değişik özelliklerdeki katı çözelti türlerinden hidrogranatları oluştururlar.

2.6.1.3. Kalsiyum alüminat sülfat hidratlar

Kalsiyum hidroksit, alüminat ve sülfat içeren çözeltiler, kalsiyum alüminat sülfat hidratları oluştururlar. Oluşum, sülfatça zengin çözeltilerde iğne şekilli trisülfat $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$ (etringit), sülfatça fakir kalsiyum açısından zengin çözeltilerde hekzagonal levhacıklı monosülfat $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaSO}_4.12\text{H}_2\text{O}$ şeklinde gerçekleşir. Bu bileşiklerdeki alüminatlar tamamen ferrioksitle yer değiştirebilirler. Ayrıca sülfat başka iyonlarla ya da kompleks bileşiklerle yer değiştirebilir. Çimentonun hidratasyonu için ve elde edilen sertleşmiş çimentonun davranışları açısından monosülfat $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaSO}_4.12\text{H}_2\text{O}$, monokarbonat $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaCO}_3.11\text{H}_2\text{O}$ ve Fridel tuzu olarak tanınan $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{CaCl}_2$ büyük önem taşır.

2.6.2. Hidratasyon seyri

2.6.2.1. Katılacak su miktarı

Katılacak su miktarını, daha önce de belirtildiği gibi, su/çimento oranı belirler. Tam bir hidratasyonun sağlanabilmesi için bu oranın $W/C = 0.4$ olması gerekir. Pratik uygulamalarda su/çimento oranı 0.4-0.8 arasında bulunur.

Bazı çimento türlerinde olması gerekenin üzerindeki su katkısı fazlası katılaşma esnasında tekrar dışarıya atılır. Bu olaya "su kusma" adı verilmektedir. Buna katı taneciklerin çökmesi (sedimentasyonu) sonucunda, yüzeyde berrak çözelti ya da su açısından zengin bir peltinin (süspansiyonun) kalması neden olur. Bu çökelti, çok ince tanecikli maddeler açısından zengindir. İnce taneli harç betonun içerisinde de çökme gösterdiğinden, çökme nedeniyle iri taneli agregaların ya da beton içindeki çeliğin etrafında "su torbaları" adı verilen boşluklar oluşur. Bu boşluklar çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansı engeller ve buna bağlı olarak mukavemet düşer.

2.6.2.2. Katılaşma (pekleşme, piriz alma)

Çimento karışımının, harcın veya betonun kıvamlaşmasına katılaşma ya da pekleşme ve daha sonraki mukavemet artışına da sertleşme denmektedir. Bu iki olay benzer olaylar olup, biri diğerinden sonra onu takip edecek şekilde gerçekleşir. İnce öğütülmüş alçı taşı (jips) katkısız portland çimentosuna su katıldığında karışım derhal katılaşır (pekleşir). Bunun nedeni, trikalsiyum alüminatın suyla hızlı bir şekilde reaksiyona girmesidir. Reaksiyon sonucunda tetra kalsiyum alüminat hidrattan hemen ince taneli bir yapı oluşur. Yapıda alçı taşının (jipsin) ya da başka anhidritlerin bulunması, katılaşmayı yavaşlatır. Sülfat içeriğinin fazılaşması, öncelikle tri sülfatın ve daha sonra kalsiyum sülfat katkısının aşırı harcanmasına neden olurken, ortamda alüminat ve monosülfatın çoğalmasına yol açar. Kalsiyum alüminat sülfat hidratlar tri kalsiyum alüminat taneciklerini çevreleyip kuşatırlar ve suyla gerçekleşmesi gereken hızlı reaksiyonu frenlerler. Sonuçta, hemen gerçekleşmesi gereken reaksiyon ancak 1 ile 3 saat kadar sonra başlayabilir.

Çimento ne kadar ince taneli öğütülürse, ne kadar çok trikalsiyum alüminat bileşiği bulundursa ve çalışma sıcaklığı ne kadar yüksek seçilirse, katılaşmayı geciktirmek için gerekli jips ve anhidrit katkılarının miktarı o ölçüde fazla olur. Öte yandan katılaşma süresinin 24 saati geçme-

mesi ve en çok bir gün içerisinde tamamlanması da arzulanan diğer önemli bir husustur. Aksi halde tri sülfat ve monosülfat sertleşen çimentonun bünyesinde oluşarak, onun kristalizasyon basıncının ve mukavemet özelliklerinin olumlu yönde gelişimini engeller. Bu nedenle sülfat katkıları için standartlarda üst limit değerleri verilmiştir.

2.6.2.3. Sertleşme

Sülfat katkısının tamamen reaksiyona girmesi halinde, tri kalsiyum alüminat, tetrakalsiyum alüminat hidrat oluşturarak hidratize olur. Bunun için gerekli olan ek kalsiyum hidroksit bileşiği, tri kalsiyum silikatın aynı anda cereyan eden hidratasyonu sonucunda açığa çıkan kalsiyum hidroksitten karşılanır. Tetrakalsiyum alüminat ferrit, tri kalsiyum alüminat hidrata göre oldukça yavaş hidratize olur ve tetrakalsiyum alüminat hidrat ve tetrakalsiyum ferrit hidratla katı çözeltiler oluşturur.

Mukavemet artışı açısından önemli olan, hızlı reaksiyona giren trikalsiyum silikatın ve ondan daha yavaş reaksiyona giren dikalsiyum silikatın hidratasyonudur. Her iki reaksiyon sonucunda da, lif görünümünde kalsiyum açısından zengin, ancak ilk kuru hammaddelelere oranla daha az kalsiyum içeren kalsiyum silikat hidratlar meydana gelir. Bu nedenle, sertleşmiş çimentoda iri kristaller halinde bulunan kalsiyum hidroksitler serbestleşir.

Curuf çimentosunda bulunan metalurjik kum taneleri de benzer şekilde reaksiyon özelliği gösterirler. Bu çimentonun hidratasyon ürünleri esas itibarı ile, tetrakalsiyum alüminat hidrat, kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum hidroksittir. Curuf çimentosu; portland çimentosuna göre kalsiyum bileşikleri açısından daha fakir olduğundan, sertleşmiş curuf çimentosunda curuf katkı miktarı arttıkça, ayrılan kalsiyum hidroksit miktarında azalma olur.

Sülfatlı curuf çimentosunun hidratasyonunda, anhidrit olarak çimentoya katılan kalsiyum sülfatcurufila trisülfat oluşturacak şekilde

reaksiyona girer. Bunun dışında reaksiyon sonucunda hidrolik sertleşmenin gerçekleşmesini sağlayan kalsiyum silikat hidrat bileşiği de oluşur.

Alüminat içerikli çimentolar, portland ve curuf çimentosuna daha hızlı hidratize olurlar ve hidratasyon esnasında bu çimentolara oranla yaklaşık iki misli su ile birleşirler. Bu çimentoda sertleşme mekanizması monokalsiyum alüminat hidrat $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ve amorf alüminyum hidroksit bileşikleri üzerinden gerçekleşir. Monokalsiyum alüminat hidrat, 22 °C sıcaklığın altında geçici kararlı özelliktedir. Yüksek sıcaklıklarda, nemli ortamda monokalsiyum alüminat hidrat, dikalsiyum alüminat hidrata $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dönüşür. Bu bileşik de yine geçici kararlı bir davranış gösterir ve zamanla kararlı yapıdaki trikalsiyum alüminat hidrata $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ geçer. Bu geçişme esnasında, alüminyum hidroksit de hidrargilit bileşiği $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ halinde serbestleşir. Bu dönüşümle, mukavemet özelliklerinde dikkate değer ölçülerde azalma olurken, çimento hamuru da gözenekli bir yapıya kavuşur. Katılan alüminat içerikli çimentolarda kalsiyum hidroksit bulunmadığından, alüminat dönüşümlerinden sonra sızan gaz ve sıvıları tutma özelliği kaybolur. Bu da alüminat içerikli çimentolarla üretilen betonun içerisindeki çeliğin korozif etkilerden sürekli korunmasında olumsuz bir etki olarak ortaya çıkar.

Çimentonun zaman içerisinde sertleşmesinin nedenlerini açıklayan bazı teoriler geliştirilmiş olup, sertleşme mekanizması bugüne kadar tam anlamıyla açıklık kazanamamıştır. 1887 yılında ilk kez Le Chatelier, iğne biçimindeki hidrat fazlarının ağ şeklinde bir araya gelmesiyle betonun sertleştiğini kabul eden "kristal teorisi"ni geliştirmiş, geçen zaman içerisinde bu görüş, 1893 yılında Michaelis'in çok ince taneli hidratasyon ürünlerinin karşılıklı çekim etkisiyle (adhezyonla) sertleşmenin gerçekleştiğini kabul eden "kolloid teorisi" ile değişikliğe uğramıştır (Locher, 1969).

Çimentonun hidratasyonunu tamamladıktan sonraki, nihai mukavemet özellikleri, esas itibarı ile çimento taşının yapısal oluşumu ile belirlenir. Mukavemetin zamanla artması da, çimentonun kimyasal bileşimine, öğütmede erişilen tane incelik değerine ve sertleşmenin gerçekleştiği çalışma ortam sıcaklığına bağlı kalır. Portland çimentosunun

hızlı sertleşebilme göstermesi için yüksek trikalsiyum silikat içeriği, demir portland ve curuf çimentolarının hızlı sertleşebilmesi için de yüksek klinker katkıları gerekir.

Ayrıca tüm çimento türleri, ne kadar ince taneli öğütülürlerse ve çalışma sıcaklıkları ne kadar yüksek seçilirse, o ölçüde hızlı katılaşma ve sertleşme özelliği gösterirler. Katılaşma etkisi, yapılacak katkılarla isteğe uygun olarak hızlandırıp yavaşlatılabilir. Katılaşmayı en çok hızlandıran bileşikler kalsiyum klorür ve kalsiyum bromürdür. Ancak klorür ve bromür bileşikleri, beton içerisindeki çeliğin korozyon dayanımını etkilediğinden ve azalttığından, katkı elemanı olarak betona konması söz konusu değildir. Baryum hidroksit ve değişik silikoflorürler de hızlı katılaşmanın oluşmasını sağlayan kimyasal bileşiklerdendir. Öte yandan, çinko ve kurşun gibi ağır metallerin oluşturduğu bileşikler, fosfat ve arsenatlar da zaman içerisinde mukavemet artışını yavaşlatıcı etki gösteren bileşiklere örnek olarak gösterilebilir.

2.6.2.4 Hidratasyon Isısı

Çimentonun hidratasyonu kimyasal açıdan egzotermik, yani reaksiyon sonucunda dışarıya ısı vererek, gerçekleşir. Bu reaksiyon sonucunda oluşan ısıya hidratasyon ısısı denir ve bu ısının birimi cal/gr. cinsinden verilir.

İzoterm reaksiyon sonucunda, izoterm koşullar altında tam olarak gerçekleşen bir hidratasyon sonucunda ulaşılan toplam hidratasyon ısısı değeri, çimentonun bileşimine bağlı kalır. Teknikte hidratasyon ısısı tam olarak bilenen çimento türü portland çimentosudur. Diğer çimento türlerinin hidratasyon ısıları ölçümlerden çok, tahminlere dayanmaktadır. Eldeki literatür verilerinden değişik çimento türlerinde belirlenen hidratasyon ısı değerleri aşağıdaki gibidir (Locher, 1969):

Tablo 2. 5. Çimento Türleri ve Hidratasyon Isısı Değerleri.

Çimento Türü	Hidratasyon Isısı (Cal/gr)
Portland Çimentosu	90 - 125
Demir Portland ve Curuf Çimentosu	85 - 105
Sülfatlı Curuf Çimentosu	45 - 50
Puzzolan Çimentosu	75 - 100
Alüminatlı Çimento	130 - 140

Sadece portland çimentosu için ana klinker fazlarının toplam hidratasyon ısısı içerisindeki katkısı, değişik bileşimlerdeki çimentoda yapılan hesaplama ve ölçümlerde aşağıdaki tablo değerlerini vermektedir:

Tablo 2.6. Portland çimentosunda mevcut fazlar ve hidratasyon ısısına katkısı.

Portland Çimentosu Bileşenleri	Hidratasyon Isısına Katkısı
Trikalsiyum Silikat (C_3S)	120 cal/gr.
Dikalsiyum Silikat (C_2S)	60 cal/gr.
Trikalsiyum Alüminat (C_3A)	320 cal/gr.
Alüminat Ferrit (AF)	100 cal/gr.
Serbest CaO (C)	275 cal/gr.
Serbest MgO (M)	200 cal/gr.

Isı oluşumunun hızı, çimentonun reaksiyon yeteneğine bağlı kalır. Çimentonun reaksiyon yeteneği ne kadar yüksek olursa, yani çimento ne kadar ince öğütülürse, çimento içerisinde bulunan trikalsiyum silikat ve trikalsiyum alüminat fazlarının miktarı ne kadar yüksekse ve curuf çimentosu da ne kadar az oranda curuf içeriyorsa, açığa çıkan ısı miktarı o ölçülerde yüksek olur.

2.6.3. Sertleşmiş çimentonun özellikleri

2.6.3.1. Hidrat suyu bağı

Çimentonun sertleşmesi için harca katılan su, çimento hamurunda üç şekilde ortaya çıkar. Bunlar kimyasal zeolitik bağ içerisindeki hidrat suyu veya hidroksit bileşiği halindeki su, hidratasyon ürünlerinin geniş yüzeyinde adsorpsiyonla toplanan su ve çimento taşının içerisine boşluklardan ve kılcal çatlaklardan kapılar etkiyle sızan ve emilen sudur. Çimento hamurunun ısıtılmasında kalsiyum hidroksit bileşiğine bağlı su 400-500 °C 'lerde hızlı bir biçimde ayrışır. Sıcaklığın artması ile, aynı şekilde sürekli olarak adsorpsiyonla hidratasyon ürünlerinin yüzeyinde toplanan su ve yine kapılar etkiyle bağlanmış olan su beton bünyesinden ayrılır. Suyun yapıdan bu şekilde ayrılmasının kaynağını, oldukça yüksek tane inceliğine ve hidratasyon ürünlerinde büyük oranda var olan kristal hatalarına bağlamak gerekir. Nitekim, aynı nedenle kimyasal olarak bağlı haldeki beton içerisindeki su miktarı belirlenemediğinden, 20 °C 'de yapılacak kurutma işlemiyle, -79 °C 'deki buzun su buharı kısmi basınç değerinde uzaklaşan "buharlaşabilen su" ile; normal kurutma koşullarında bünyeden uzaklaştırılamayan "buharlaşmayan su" yu birbirinden ayırmak gerekir. Her iki suyun miktarı da su içermeyen çimentoyla orantılı ilişkisi içerisinde verilir. Portland çimentosu tam bir hidratasyonda yaklaşık % 25 oranında buharlaşmayan su içerir. Bu miktar çimento biyeshimiyle çok az oranda değişme gösterir.

2.6.3.2. İç yapı

Betonun iç yapısı, hidratasyon ürünlerinin şekli ve büyüklüğü ile gözenekli boş hacmin büyüklüğüne bağlıdır. Çimento matriksinde mevcut hidratasyona uğramamış çimento ve hidratasyon ürünlerinin oluşturduğu mevcut katı maddeler boş hacimleri tam olarak dolduramazlar. Bu nedenle çimento hamurunda doyma durumunda suyla dolu halde duran gözenekler

ortaya çıkar. Hidratasyon ürünlerinin susuz çimentoya oranla daha fazla hacime ihtiyaç duymasından dolayı, artan hidratasyonla gözeneklilikte azalma görülür.

Hidratasyon ürünlerinin ortalama tane iriliği, susuz çimentonun ortalama tane iriliğinin binde biri kadardır. Bu nedenle hidratasyon sonucunda büyük bir bütünlük içerisinde bulunan çimento tanelerinden, çok küçük, sıkı paket yapısıyla hacmi tamamen dolduramayan hidrat tanecikleri oluşur. Bu nedenle pelte, hidratize olmamış çimentodan daha fazla yer işgal eder. Çimentonun hidratasyonu esnasında, önceden harç suyuyla dolu olan ara bölgelere doğru ilerler. Tam hidratasyon durumunda, su/çimento oranının 0.4 iken pelte, ancak ara bölgeleri doldurur. Eğer su/çimento oranı 0.4'ten azsa, çimento tam olarak hidratize olmaz. Bu durumda tam hidratasyon halinde bile boşluklar oluşur. Kapilar gözenek olarak adlandırılan bu boşlukların büyüklüğü bir kaç μm mertebesinde.

Çimento matriksinin teknik özellikleri açısından kapiler gözenekler büyük değer taşır. Çimento matriksinde ne kadar az miktarda kapiler gözenekler meydana gelirse, yani harca ne kadar az oranda su katılırsa, çimentonun mukavemeti, kimyasal ortam direnci, don ortamına dayanımı o ölçüde büyük ve su geçirgenliği de o ölçüde az olur. Aynı ilişki harç ve beton için de geçerlidir.

2.6.3.3 Çekme, Şişme-Yumuşama Etkileri

Çekme, şişme-yumuşama etkileri sözcüklerinden, kurutma ya da nemlendirme yoluyla betonda, harç ve betonda görülen hacimsel değişiklikler anlaşılır. Hacimsel değişikliklerin nedeni, sertleşen çimentonun ince gözeneklerde bulunan suyun yüzey gerilimi ve ara katman suyunun çekilmesi ya da verilmesiyle, kalsiyum silikat hidrat katman kristallerinin kristal içi çekme ve şişme etkileridir. Çekme ve şişme etkileri tersinir değildir ve kısmen birbirine dönüşebilirler. Betonda çekme değeri su/çimento oranına bağlı olarak 0.1 ile 0.6 mm/m. arasında değişir.

Şişmenin beton üzerinde fazla olumsuz bir etkisi gözlenmezken, çekme etkileri beton içerisinde çekme zorlanmalarının ortaya çıkmasına ve buna bağlı olarak çekme yırtılmalarına neden olabilir. Genel olarak, bileşimlerinde fazla oranda trikalsiyum alüminat bulunduran çimentolardaki çekme, diğer çimento türlerindeki göre daha fazladır.

2.6.3.4. Sünme özelliği

Sünme, bir malzemenin sürekli yük etkisi altında plastik şekil değişimine uğraması olayıdır. Çimento hamurunda şekil değişimi, yük kalktıktan sonra kısmen eski durumuna döner. Çimentoda ortaya çıkan bu sünmenin (kalıcı şekil değişiminin) nedeni, aşırı yüklenmiş bölgelerden az yüklenmiş bölgelere olan su hareketidir. Şekil değişimi, başlangıçta fazla olur. Ancak 1 ya da 2 yıl içerisinde iyice azalma gösterir. Genel olarak betonlarda, mukavemet arttıkça, sürünme özelliği azalmaktadır.

2.6.3.5. Kimyasal dayanıklılık

Sertleşen betonun bileşenleri farklı özellikteki sıvı ve gazlarla kimyasal reaksiyona girerler. Bu arada çimentonun mukavemetinde belirgin bir düşme görülür ve nihayet çimentonun bütünlüğü kaybolabilir. Amonyum ve magnezyum tuzları gibi kimyasal açıdan yer değiştirebilen katyonları bulunan tuzların, asitlerin ve bazların etkisi altında, reaksiyon ürünlerinin suda kolay çözünürlüğü nedeniyle, çimento yüzeyden itibaren çözünmeye başlar. Sülfatlar çimento hamurunun içerisine sızarlar ve alüminat hidratlarla trisülfat oluşacak şekilde reaksiyona girerler. Yüksek sülfat konsantrasyonlarında, çözeltide jips (alçı taşı) oluşabilir. Yeni oluşan sülfat bileşiklerinin gelişme ve büyümesinden ileri gelen basınçla sülfatlaşma görülebilir.

Asit ve katyon değiştirebilen tuzların çözücü etkileri karşısında değişik çimento türleri birbirinden farklı bir davranış göstermezler.

Çimentonun bu etkiler altında kalmaması için, sıkı yapılı olarak üretilmesi gerekir.

Sülfat direnci açısından çimento türleri arasında büyük farklılıklar ortaya çıkar. Litresinde 400 mg'dan fazla SO_4^{2-} -iyonu içeren sulu ortamlarda ve kilogramında 3000 mg'dan fazla SO_4^{2-} -iyonu içeren zeminlerde, sülfat direnci yüksek çimentoları kullanmak gerekir. Sülfat etkilerine dayanıklı en tanınmış çimento türleri; trikalsiyum alüminat içeriği düşük ve en çok % 3 dolaylarında bulunan portland çimentosu, %79 curuf katkılı curuf çimentosu, trikalsiyum alüminatça fakir yüksek fırın çimentosu ve % 13'ün altında alüminyum oksit içeren alüminatça fakir çimento ve sülfatlı metalurjik çimentodur.

Gazlar da çimento taşına sızarak, nemin varlığında çimentonun yapı elemanlarıyla reaksiyona girerler. Hidrojen sülfür ve kükürt dioksit, reaksiyon sonucunda çimentonun çözünmesine yol açan sülfürik asidi oluştururlar. Karbon dioksit, öncelikle kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek kalsiyum karbonat (kireç taşı) bileşiğinin oluşmasına neden olur. Kalsit minerali halindeki kalsiyum karbonatın, kalsiyum hidrokside oranla % 10 daha fazla hacim gerektirmesi, çimento mukavemetinin bir miktar yükselmesine sebep olur (Basunbul vd., 1991).

Kalsiyum hidroksit ile karbon dioksit arasında cereyan eden reaksiyon, beton içerisindeki çeliğin korozyonu açısından büyük değer taşır. Çimento taşının gözenek çözeltisi kalsiyum hidrokside doymuş durumda ve pH -değeri'in 12 olduğu durumda, beton içerisindeki çelik yüksek baziklik değeri nedeniyle korozyona karşı korunur. pH -değerinin 8'in altına düşmesi ile beton katı, çeliği artık korozyona karşı koruyamaz duruma gelir. Deneyimler, sıkı yapılı bir çimento oluşumunda, karbonat oluşumunun yavaş seyretmesi ve ancak 20-30 yıl gibi uzun süreler içerisinde betonun derin noktalarına işleyebilmesi nedeniyle, çimentonun içerisinde bulunan çeliği az da olsa koroziif etkilerden korumaya devam ettiğini göstermektedir (Yıldırım vd.,1995).

BÖLÜM III

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

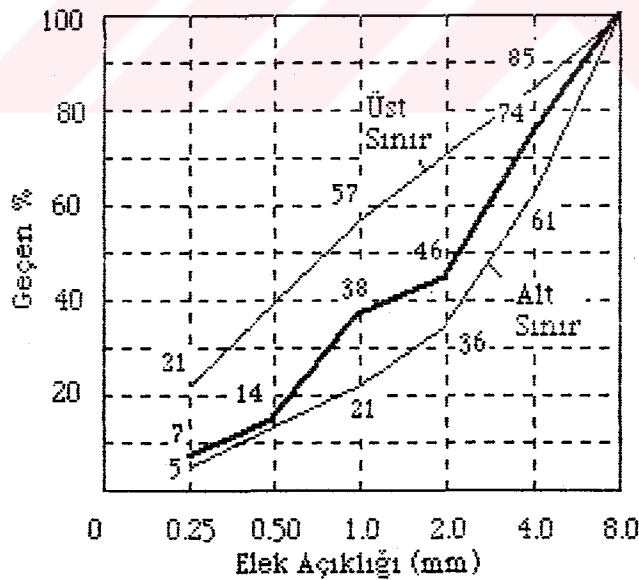
3.1. Deney Hazırlıkları ve Malzeme Seçimi

Deneyisel çalışmalarda kullanılmak ve beton dökümünü sağlamak üzere; beş ayrı ölçüde, kolaylıkla sökülüp ayrılabilen ve tekrar birleştirilip, bir sonraki deneyde tekrar kullanılabilen, civata bağlantılı, kalın çelik sacdan beton döküm kalıpları imal edildi. Kalıplar; betondaki pas payları ve beton içerisine yerleştirilen çelik çubukların çap kalınlıkları ve tav fırının iç boyutları da dikkate alınarak, dökülen beton deney numunesini tamamen saracak şekilde boyutlandırıldı ve tasarlandı. Çekirdeğe yerleştirilen çelik çubuklar üzerinde 1, 2, 3, 4 ve 5 cm. 'lik beton tabakalarının kalmasını sağlamak için kalıp ölçüleri 0.5 cm geniş tutuldu. Böylece imal edilen kalıplar, boyutları 2.5 x 2.5 x 20 cm., 4.5 x 4.5 x 20 cm., 6.5 x 6.5 x 20 cm., 8.5 x 8.5 x 20 cm., 10.5 x 10.5 x 20 cm. ölçülerinde olacak şekilde kaynak ve civata bağlantıları kullanılarak hazırlandı. Kalıpların tam ortalarına gelecek şekilde en iç kısma yerleştirilen çelik çubuklar, önceden TS 138 'e uygun olarak tornada her deney için ayrı ayrı işlenerek şekillendirildi, kalıplara yerleştirildi ve daha sonra beton dökümüne geçildi. Deneylerde kullanılan çelikler Elazığ F.Ü. Tıp Fakültesi inşaat sahasından ve F.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 'nden temin edilerek F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde torna ettirilmiştir. Deneylerde BÇI, BÇ III ve BÇ IV kalitelerinde beton çelikleri kullanıldı. Beton dökümü işi için çevreden kaliteli agrega temin edilmesi hususunda araştırmalar yapıldı. Agregalar, Elazığ Yeniköy Agrega Ocağı'ndan temin edildi. Temin edilen agregaların özellikleri Tablo 3.1. de verilmiştir. Öncelikle alınan agregalar elenerek, elde edilen malzeme oranlarına göre, TS 706 sınırları dahilinde elek analizleri yapıldı ve uygun granülometri tespit edildi. 4.5 x 4.5 x 20 cm³ ve 2.5 x 2.5 x 20 cm³ hacimli

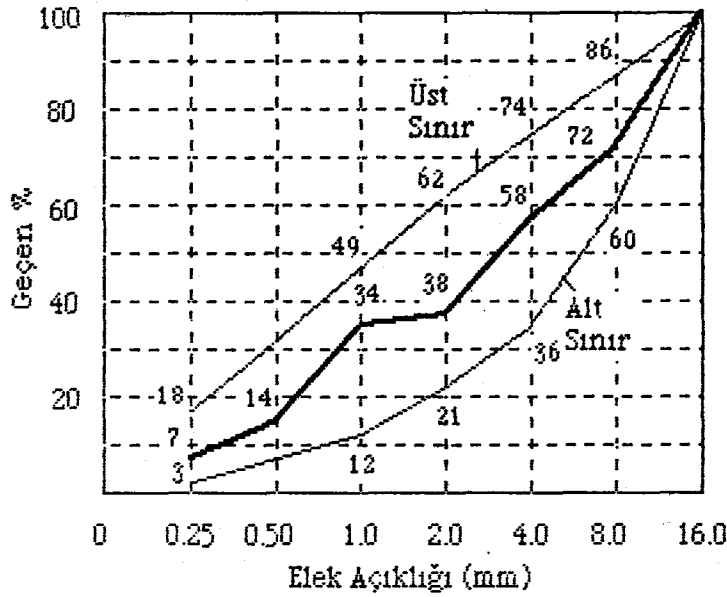
kalıplara dökülecek betonlardaki agregaların maksimum dane çapı TS 802 dahilinde diğer kalıplara göre küçük tutuldu. Su/Çimento oranı TS 802 'deki sınırlar dahilinde bulunmak üzere karışım özenle hazırlandı ve döküm işine geçildi (TS 802 'den değerler alınırken BS 20 'lik beton kalitesi esas alınmıştır). Dökülen malzemenin kalıplardan kolaylıkla çıkartılabilmesini sağlayabilmek için kalıp yüzeyleri dikkatle yağlandı.

Tablo 3.1. Yeniköy Agregası Ocağı 'ndan alınan agreganın özellikleri.

OCAK ADI	Birim Ağ. (kg/dm ³)		Özgül Ağ. (kg/dm ³)		Su Emme (%)		Aşınma (%)		200 Nolu Elekten Geçen	Don Kaybı (%)	Org. Madde
	Gev.	Sıkışık	Kum	Çakıl	Kum	Çakıl	100 D	500 D	(%)	Çakıl	-
Yeniköy Ağ. Ocağı	1.97	2.17	2.60	2.65	3.36	0.88	3.34	23.3	45	6.65	Hafif Sarı



Şekil 3.1. 2.5x2.5x20, 4.5x4.5x20, 6.5x6.5x20 'lik kalıplara dökülen betonda kullanılan agreganın granulometri eğrisi.



Şekil 3.2. 8.5 x 8.5 x 20, 10.5 x 10.5 x 20'lik kalıplara dökülen betonlarda kullanılan agreganın granülometri eğrisi.

3.2. Deney Uygulamaları

Döküm işlemi tamamlandıktan 24 saat sonra dökülen parçalar tamamen su içerisinde kalacak şekilde su içerisine konuldu ve numuneler her deney gurubu için ayrı ayrı 28 gün süre ile su içinde bekletildi. Bu süre sonunda sudan çıkartılan numuneler, daha sonra 105 °C sıcaklıkta sahip oldukları nemi kısmen de olsa atacak şekilde etüvde kurutuldu. Kurutulan numuneler daha sonra etüvden alınıp; dijital kontrollü bir şekilde 1200 °C sıcaklığa kadar çıkılabilen, termokupl ve termostatl laboratuvar tipi elektrik dirençli bir tav fırınında 800, 700 ve 500 °C 'lık sıcaklıklarda 1, 3 ve 5' er saatlik sürelerle sıcaklık etkilerine maruz bırakıldı. Isıl işlem sonrası, soğutulan beton parçalarının yüzeylerindeki değişimler gözle incelendi. İçerisinde çelik çubuk bulunan beton daha sonra basınç makinasında kırılarak, basınç dayanımları tespit edildi. Isı etkisi altında kalan çelik çubuk betondan hasarsız bir şekilde dışarıya alındı. Beton

içerisinden çıkartılan standard çekme çubuklarına üniversal çekme makinasında çekme deneyi uygulanarak, bu çubukların ayrı ayrı mukavemet özellikleri olan çekme ve akma dayanımlarıyla, sünelik özellikleri olan uzama ve kesit daralma özellikleri hesaplandı.

Deneyler; Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin İnşaat Mühendisliği ve Makina Mühendisliği; Teknik Eğitim Fakültesi'nin Metal Eğitimi Bölümü Laboratuvarlarındaki araç gereç ve teknik imkanlar kullanılarak yapılmıştır.

Deneylerde seçilen farklı sıcaklıklara bağlı beton çeliğindeki çekme dayanımı, akma dayanımı, uzama ve kesit daralması özelliklerinin değişimi ile betondaki basınç dayanımının değişimi, etkime sürelerine bağlı olarak incelenmiştir. Parçalar işlem sonrasında uygun ölçülerde bir çelik kısıkacla fırınlardan dışarıya alınıp, açık havada bırakılarak soğutulmuştur.

BÖLÜM IV

4. DENEY SONUÇLARI

4.1. Çeliklerden Deney Sonucu Elde Edilen Değerler

Beton içerisinde BÇ I, BÇ III, BÇIV çeliklerinde, 500°C, 700°C, 800°C 'lik sıcaklıklarda 1, 2, 3, 4 ve 5 cm. 'lik paspayları için ayrı ayrı üçer deney yapılmış, beton içerisinde çıkarılan çelikler çekme deneyine tabi tutulmuş ve aşağıdaki tablolar elde edilmiştir. Çeliklerin çekme deneyleri sonucunda öncelikle maksimum çekme ve akma kuvvetleri çekme makinasından okunarak, ilk çapları ve koptuktan sonraki çapları, ilk boyları ve koptuktan sonraki boyları ölçülerek elde edilmiştir. Bu değerler kullanılmak suretiyle çeliklerin maksimum çekme ve akma gerilmeleri ile uzama ve kesit daralması hesaplanmıştır. Hesaplamanın nasıl yapılacağı 2.4.2. 'de daha önce anlatılmıştır. Tablolarda bulunan değerler, üç çekme deneyinde bulunan sonuçların ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. 500 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	332.8	451.1	30.1	70.8	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	346.4	455.6	29.4	66.3	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	351	460	28.8	64	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	363.5	469	26.4	62.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	377	473.7	24.7	61.1	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.2. 500 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler.

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	324.8	447.3	35.3	71	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	330	450	33.5	69.3	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	343	452.6	32	67.6	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	344.3	456.2	29.8	64.9	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	350	459.2	27.2	64	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.3. 500 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	315.9	415.2	37.4	76.5	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	320	428.8	34.9	75.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	321.9	435.5	33	74.9	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	324.8	437.8	31	73.4	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	329.3	442.3	29.5	71.6	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.4. 700 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	324.6	425.5	36.2	76.1	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	338.2	437.8	35.4	74.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	347	446.8	32.9	71.1	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	352	451.3	30.4	69.9	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	361.1	463.4	26.5	67.8	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.5. 700 °C 'de 3 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	318.6	413.4	40.3	77.5	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	327.3	422	37.9	75.9	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	334	428.8	34	74.3	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	338.5	433.3	31.6	71.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	347.5	442.3	29	69.7	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.6. 700 °C 'de 5 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	294.7	393	42	79	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	297.7	397	40	78.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	306.8	406	37.2	76.8	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	315.8	410.5	33.5	74.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	324.8	419.5	32.8	73.3	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.7. 800 °C 'de 1 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	298.6	390.1	32.8	77.2	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	300.1	401.9	30.4	76.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	317.1	415.7	28.9	74.5	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	320.7	421.9	28	71.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	344.1	435.3	27.8	70	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.8. 800 °C 'de 3 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	262.1	386	42.7	80.9	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	274.6	394.2	39.1	79.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	285.5	402	35.1	76.7	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	295.9	406.8	33.3	75	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	310.3	424.4	32	73.1	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.9. 800 °C 'de 5 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-I beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	253.2	371.3	51	82.2	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	265.4	383.5	49	81.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	271.6	399.8	46.4	79.5	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	289.6	405.1	42.5	76.2	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	302.9	409.5	37.2	75.5	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	388.7	511.2	29.8	59.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.10. 500 °C 'de 1 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	469.8	613.5	23.4	50.3	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	485	619.3	20.9	49	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	504.3	631.3	20.1	47.5	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	516.9	643.9	17.2	45.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	531	655.7	16.5	42.2	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.11. 500 °C 'de 3 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	458.8	588.1	26.1	54.5	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	475.5	602.9	24.4	52	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	481.6	608.4	21.4	51.2	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	498.4	639.1	19.9	48.7	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	507.5	647.3	16.5	42.2	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.12. 500 °C 'de 5 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	438.4	543.3	28.5	58.2	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	445	569.8	27.9	57.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	457.7	586.5	26.3	55	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	470	597.5	24.5	53.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	487.6	617.9	24.5	53.8	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.13. 700 °C 'de 1 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	442.5	545.5	28.8	60	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	455	565	27	57.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	468.2	587.4	24.5	53.9	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	488.9	603.7	20.5	51.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	496.6	617.5	19.8	49.8	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.14. 700 °C 'de 3 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	431	539.9	32	63.7	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	446.6	552.3	29.5	61.4	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	459.8	568.6	26.4	56.1	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	482.1	585.7	23.5	53.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	486.1	601.6	21	50.9	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.15. 700 °C 'de 5 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	422.1	531	34	65.4	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	437.6	543.8	33.3	65.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	448.7	547.5	32.5	62.2	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	452.4	577.4	30.2	60.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	468.9	588.2	26.4	56.6	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.16. 800 °C 'de 1 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	384.1	539.8	30	66.3	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	399.5	543.9	29.5	60.9	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	415.4	553.3	28	58.9	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	424.2	561	25.5	56.9	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	438.6	570.2	25	55.6	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.17. 800 °C 'de 3 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	345.8	515.3	33.5	68	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	375.5	521.2	31	64	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	387.1	539.9	28.5	59.1	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	406.1	548.3	26.5	57.4	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	419.6	555.7	26.2	56.7	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.18. 800 °C 'de 5 Saat süreyle fırında bekletilen BÇ-III beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	325.5	481.2	37.5	71.3	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	351.2	491.3	34.8	70.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	361.7	503.3	33.8	67.8	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	374.4	516.7	32.5	67.1	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	389.8	526.5	31.3	66.3	Üzerinde 5cm beton tabakası bırakıldı
6	549.3	673	14.8	40.4	İşlem görmemiş

Tablo 4.19. 500 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler.

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	535.3	650.7	13	49.4	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	550.50	680.30	10.5	40.8	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	554.2	685.7	10	38.7	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	582.4	697.8	9	35.1	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	596.9	716.1	8.5	28.3	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.20. 500 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	503.3	611.9	14.5	53.8	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	534.6	634.9	12.5	45.1	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	535.3	639.1	11.8	39.6	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	541.4	644	10	37.2	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	550.5	664	9.9	30.2	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.21. 500 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	436.60	564.40	16.2	55.9	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	466.9	581	14.6	47.1	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	477.1	591.1	13.9	40.8	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	494.2	614.8	12.7	37.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	534.2	639.6	11.5	33.1	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.22. 700 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	449.9	564.5	24.1	56.6	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	468.9	589.2	20	54.5	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	478.6	596.4	17.1	52.5	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	486.4	615.6	14.4	48.6	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	505.8	630	11.8	43.5	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.23. 700 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	442.9	554.3	25.8	61.6	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	450.2	562.8	24.3	61.2	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	477	571	18.8	59	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	484.2	599.6	14.6	54.7	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	492.7	617.6	12.3	49.5	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.24. 700 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_s (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	419.7	541.1	27.9	68.6	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	448.4	555.2	26.2	65.4	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	466.7	562.2	24	64	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	473.8	584.9	21.5	63.1	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	482.5	590.3	17	61.8	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.25. 800 °C 'de 1 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	413.8	542.3	27.9	66.7	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	426.6	553.7	24.2	62.7	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	433.4	562.5	23.1	59.7	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	441.4	578.1	21.5	53.5	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	450.8	591.6	20.1	48.3	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.26. 800 °C 'de 3 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

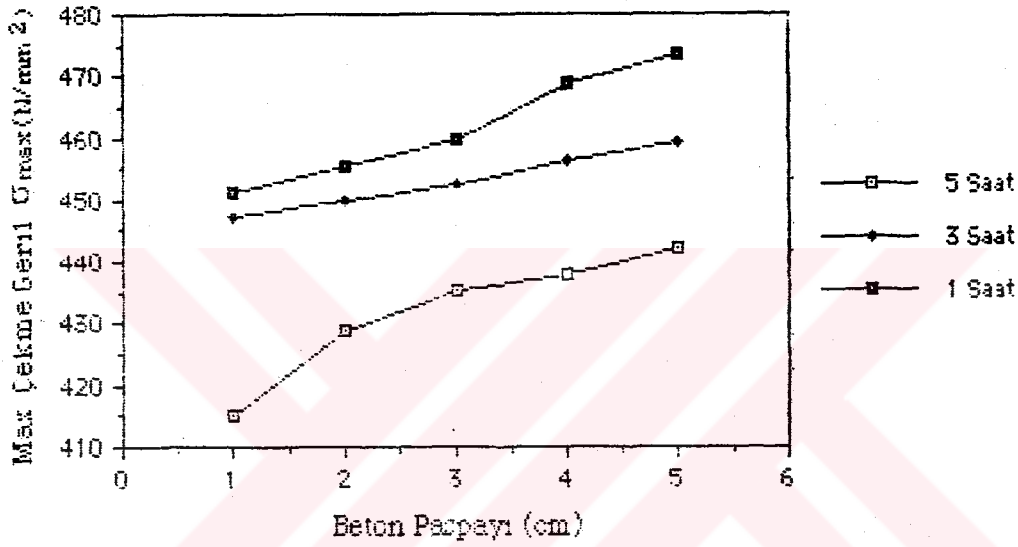
Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	377.7	525.6	30	68	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	389.1	539.6	29.1	65.7	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	405.5	545.7	26.2	62.4	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	411.3	563.4	25.8	58.9	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	428.7	572.2	24.2	51.3	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

Tablo 4.27. 800 °C 'de 5 saat süreyle fırında bekletilen BÇ-IV beton çeliklerinden elde edilen değerler

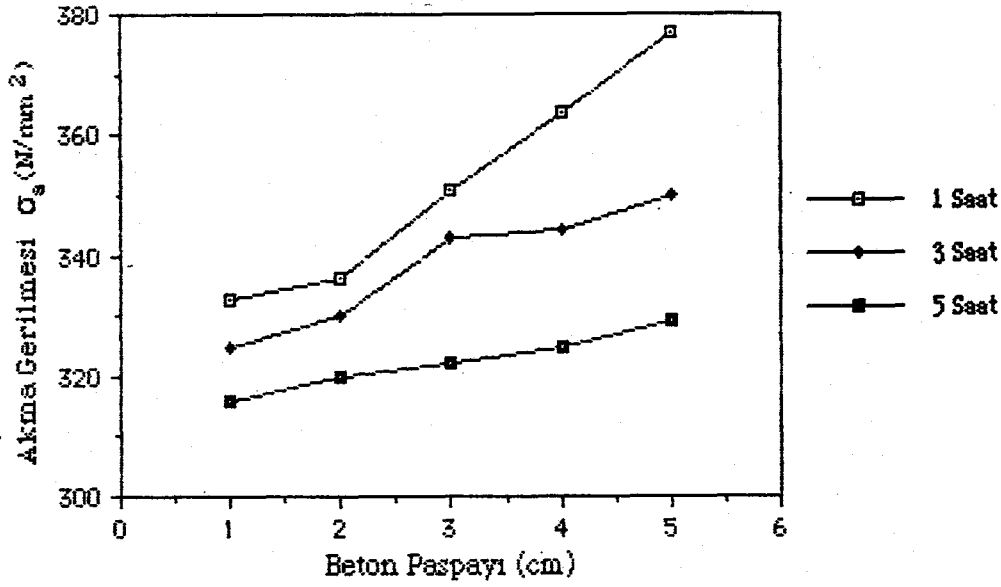
Çelik No	Akma Gerilmesi σ_a (N/mm ²)	Max. Çekme Gerilmesi σ_{max} (N/mm ²)	Uzama A (%)	Kesit Daralması Z (%)	Yapılan işlem
1	331.2	498.2	31.8	71.2	Üzerinde 1cm beton tabakası bırakıldı
2	364.1	507.5	30	69.1	Üzerinde 2cm beton tabakası bırakıldı
3	386.2	519.4	29.3	66.2	Üzerinde 3cm beton tabakası bırakıldı
4	401	520.7	28	65.8	Üzerinde 4cm beton tabakası bırakıldı
5	414	548.5	24.5	62.5	Üzerinde 5 cm beton tabakası bırakıldı
6	612.5	743.4	7.5	25.5	İşlem görmemiş

4.2. Çeliklerde Mukavemet Özelliklerinin Beton Kalınlığı, Sıcaklık ve Süreye Bağlı Değişimi

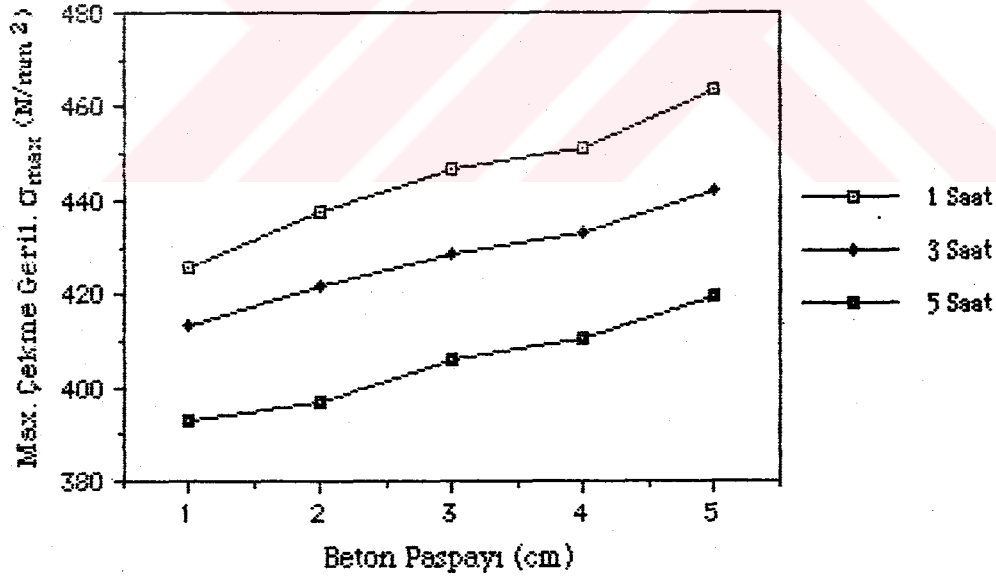
4.2.1. BÇ I çeliğinde mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



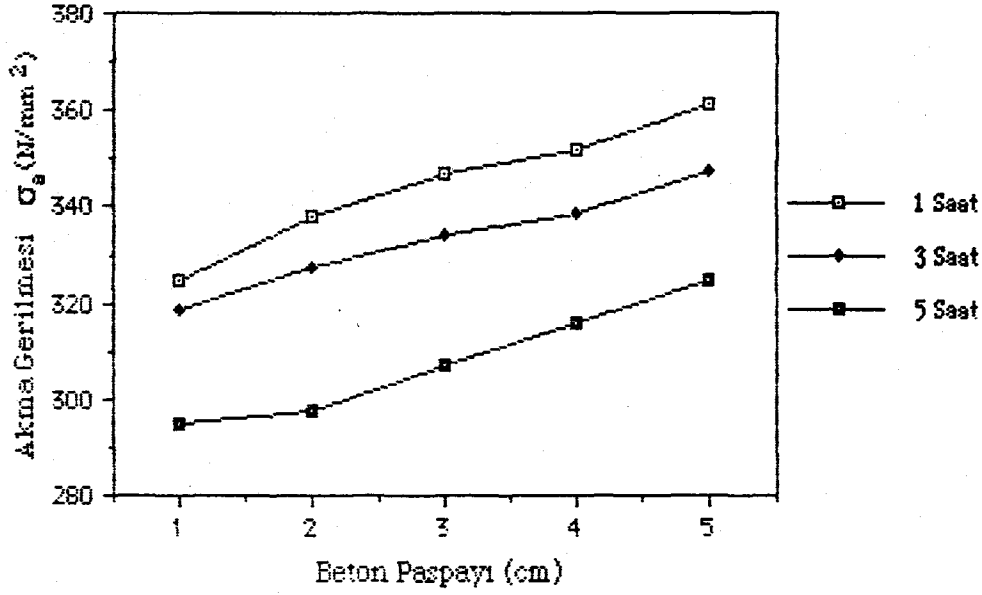
Şekil 4.1. 500 °C 'de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



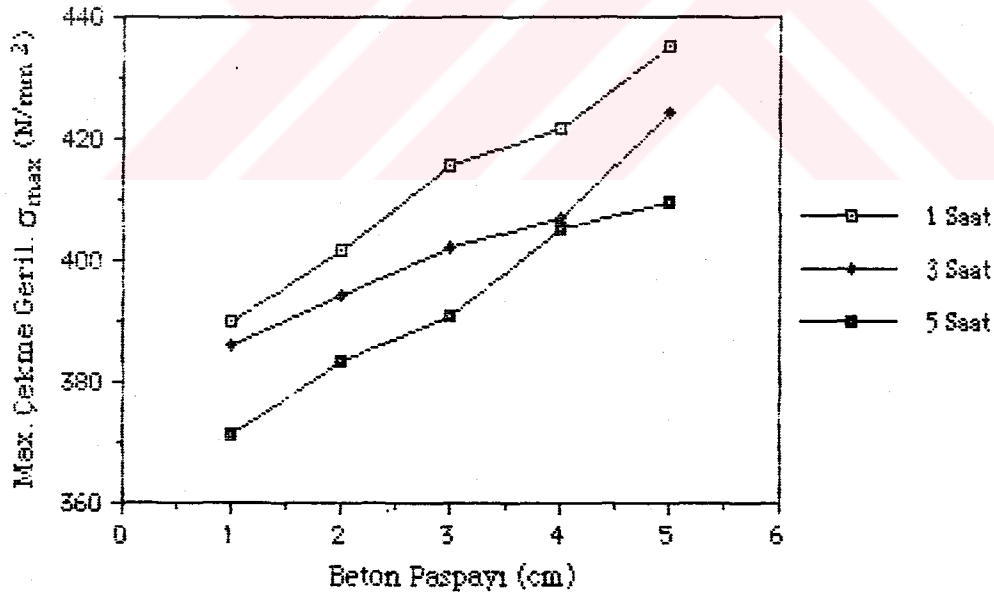
Şekil 4.2. 500 °C 'de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



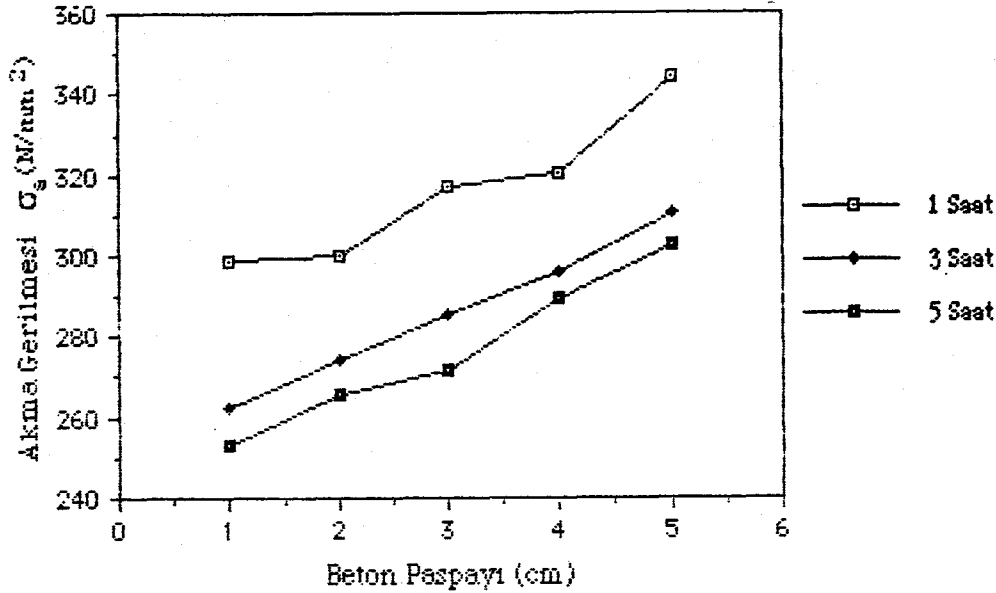
Şekil 4.3. 700 °C 'de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



Şekil 4.4. 700 °C 'de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



Şekil 4.5. 800 °C 'de BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

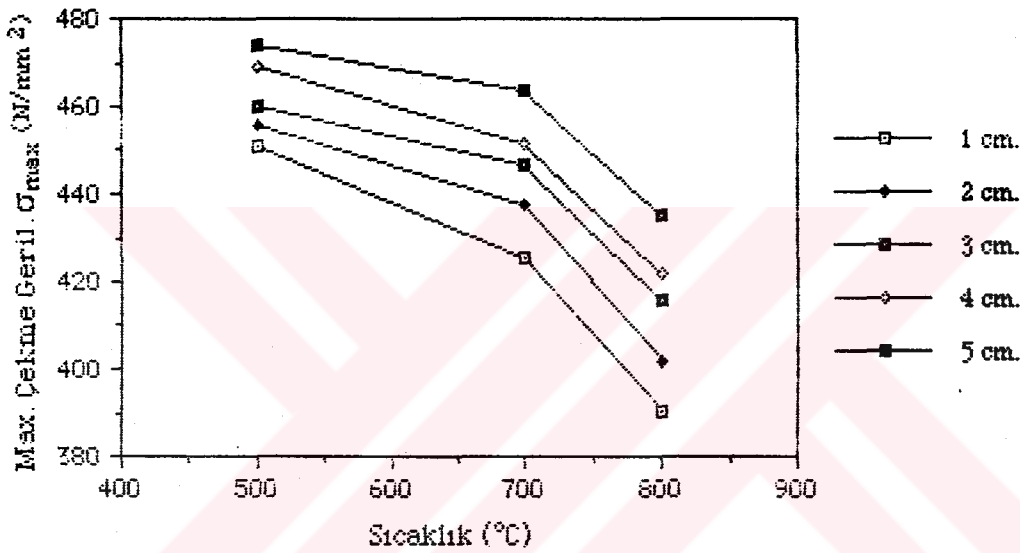


Şekil 4.6. 800 °C 'de BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

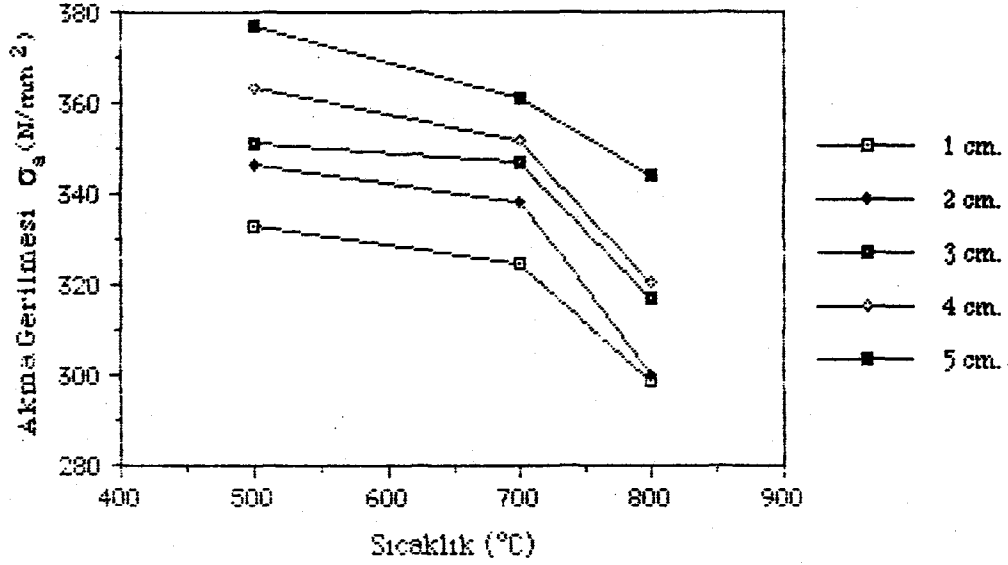
Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6 'dan çelik üzerindeki artan beton tabakası kalınlığı ve azalan fırın tavlama sıcaklığı etkime süreleriyle BÇ-I çeliğinde; maksimum çekme gerilmesinin ve akma gerilmesinin arttığı, yani korunduğu görülmektedir. Beton çeliğini dıştan saran beton katının kalınlığının artması ile numune yüzeyiyle çelik çubuk arasındaki ısı iletimi yavaşlamakta, betonun sahip olduğu doğal gözenekler ısı geçişinin güçleşmesine neden olmakta ve çelik çubuk dış etkilerden daha iyi korunabilmektedir. Süresinin artması halinde çelik çubuk daha uzun süreler ısı etkileri altında kalır. Uzun süreli ısı etkileri altında malzemenin iç yapısında, önceden soğuk veya sıcak deformasyon sonucu meydana gelen pekleşme ve iç gerginlikler kaybolmakta ve bu suretle çelik malzemede yumuşama ve buna bağlı olarak mukavemet azalması ortaya çıkmaktadır.

Sabit tutulan 500 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklar altında; artan tavlama süreleri ve azalan beton tabakası kalınlığı ile; çeliğin kopmadan dayanabileceği en büyük gerilme değeri olan maksimum çekme gerilmesi

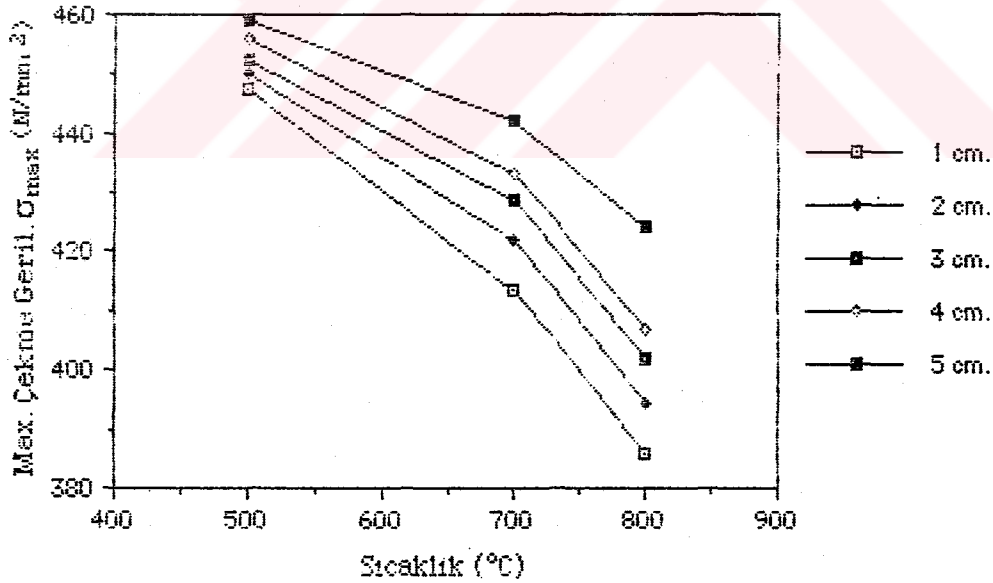
ve yine çeliğin kalıcı şekil değişimine uğramadan dayanabileceği en büyük mukavemet değeri olan akma sınırı değeri hızla düşmektedir. Maksimum çekme dayanımı ve akma sınırındaki bu düşüşün nedeni, uygulanan uzun süreli tavlama işlemleriyle çelik çubukların üretimi esnasında oluşan ve mukavemet artışına neden olan iç gerginliklerin ve pekleşme etkilerinin seçilen sıcaklarda kısmen ya da tamamen ortadan kalkması şeklinde açıklanabilir.



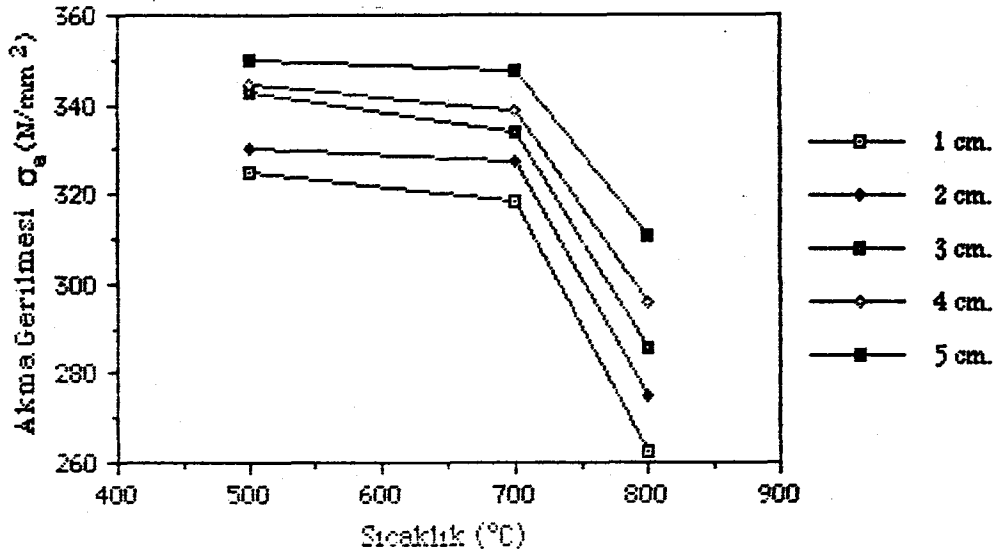
Şekil 4.7. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



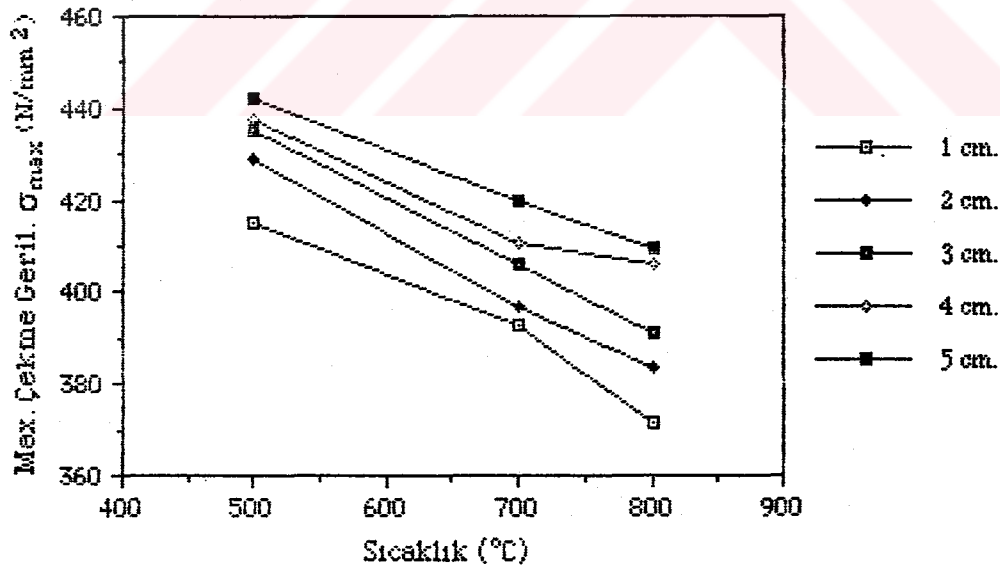
Şekil 4.8. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



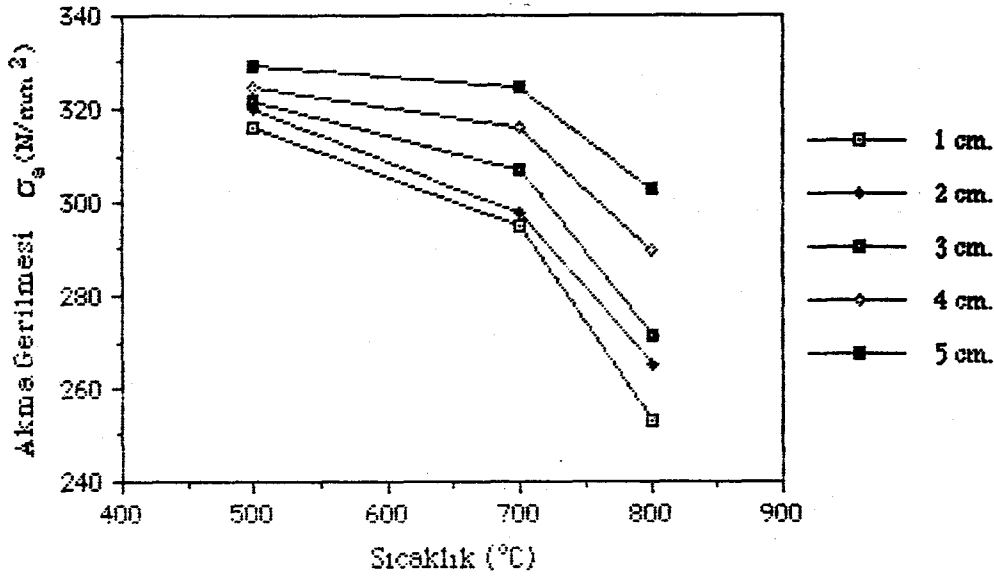
Şekil 4.9. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.10. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.11. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.12. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

800 °C ve 700 °C sıcaklıkta yapılan tavlamalarda elde edilen, sürelerle ve çelik çubuk dışındaki beton tabaka kalınlığına bağlı maksimum çekme gerilmesi değerinin düşme eğilimi, 500 °C yapılan deney sonuçlarına benzemekle beraber, burada görülen mukavemet düşmesi yüksek sıcaklık etkisiyle daha fazla olmaktadır. Çünkü 700 °C'de ve daha yüksek sıcaklıkta yapılan işlemler malzeme tekniğinde sade karbonlu alaşımsız çeliklerin (beton çelikleri de bu gurubu girerler) aşırı derecede yumuşamalarına ve buna bağlı olarak mukavemetlerinin hissedilir derecede düşmesine neden olmaktadır (Şekil 4.7-4.12).

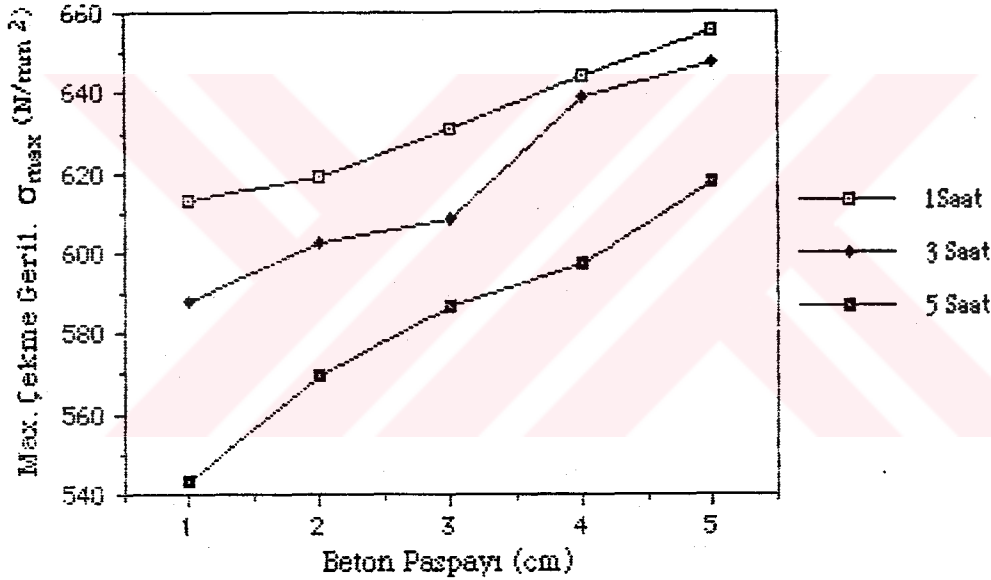
700 °C'de BÇ-I çeliğinde çeliği saran beton tabakası kalınlığı ve ısı altında tutma süresine bağlı maksimum çekme gerilmesi değerinin değişimi, 500 °C'dekine benzer bir davranış içerisinde olup, burada da örtü katı kalınlığı arttıkça ve ısı etkisi altında tutma süresi azaldıkça maksimum çekme gerilmesindeki düşüş de bundan daha az etkilenmektedir.

BÇ -I çeliğinin 700 °C sıcaklıkta yapılan tavlama işleminde, çelikler daha yüksek bir sıcaklık etkisi altında kaldıklarından, 500 °C sıcaklıktaki çeliklere oranla daha fazla yumuşarlar ve mikroyapılarındaki sertlik ile

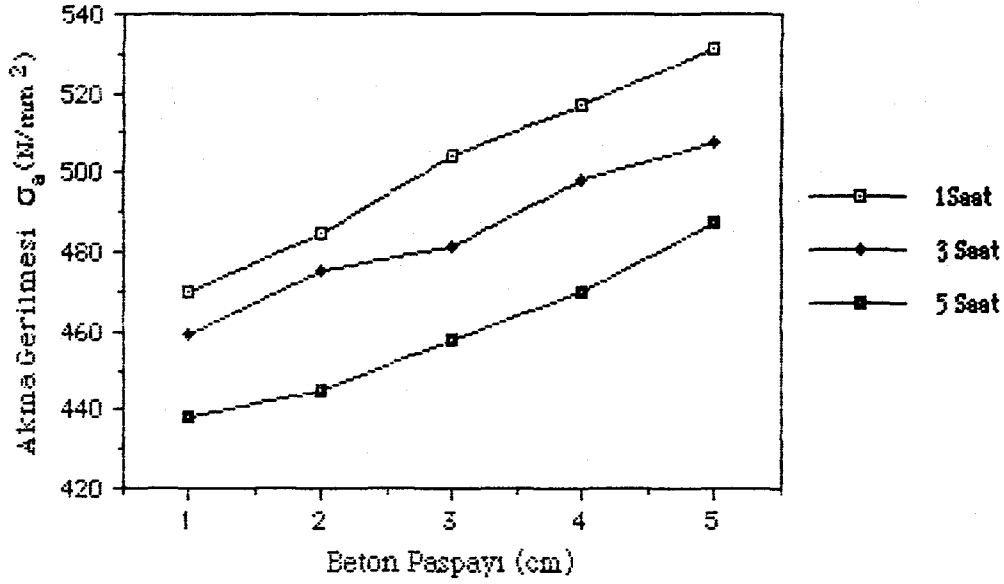
mukavemetin yükselmesini sağlayan perlitteki karbür ağı parçalanarak, taneli bir yapıya dönüşür. Bu da tıpkı çekme mukavemetinde olduğu gibi akma sınırını da iyice düşürür.

800 °C sıcaklıkta yapılan tavlamalarda çelik iç yapısı bu sıcaklıkta önce ferrit ve ostenit fazlarından oluşur. Çeliğin işlem sonrası oda sıcaklığına kadar soğutulması ile iri taneli ferrit ve perlitten oluşan yumuşak bir yapıya ulaşılır.

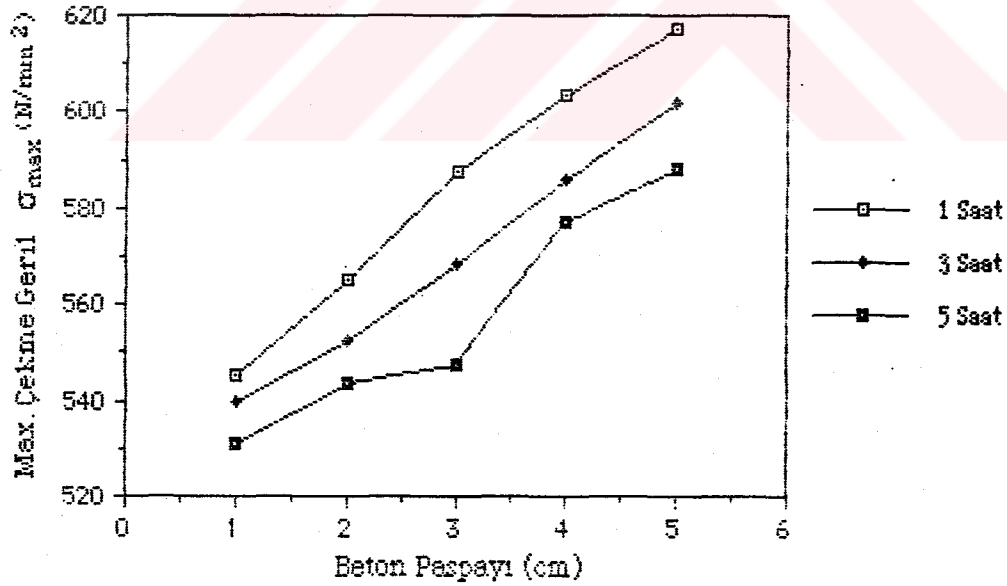
4.2.2. BÇ III çeliğinde mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



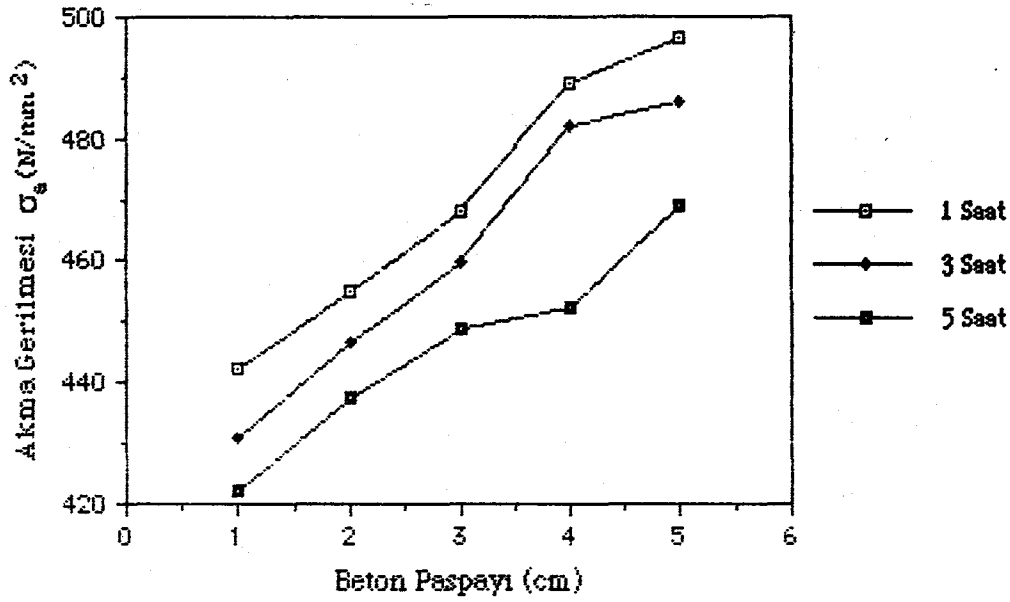
Şekil 4.13. 500 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



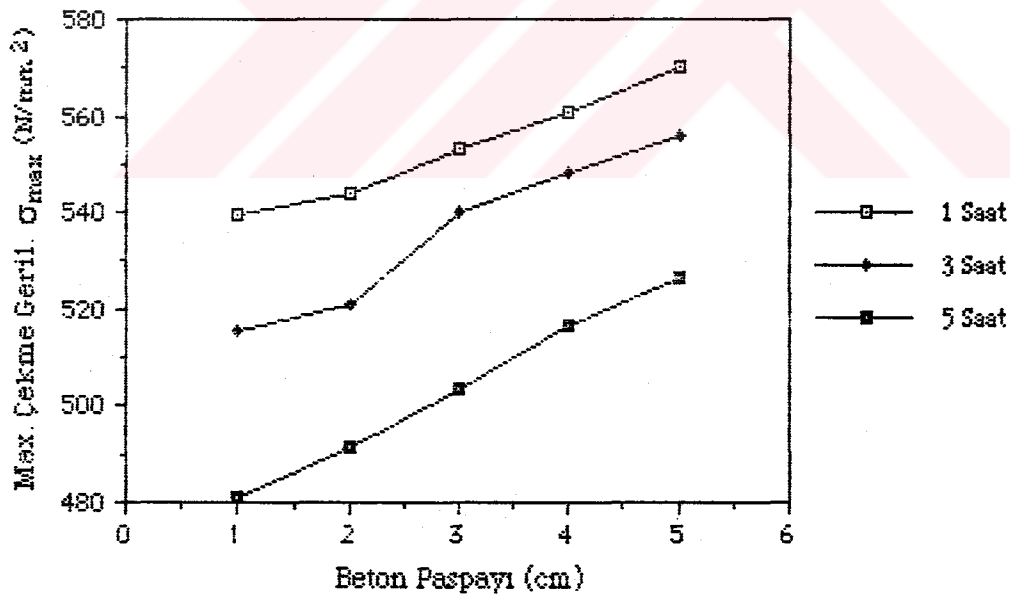
Şekil 4.14. 500 °C ' de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



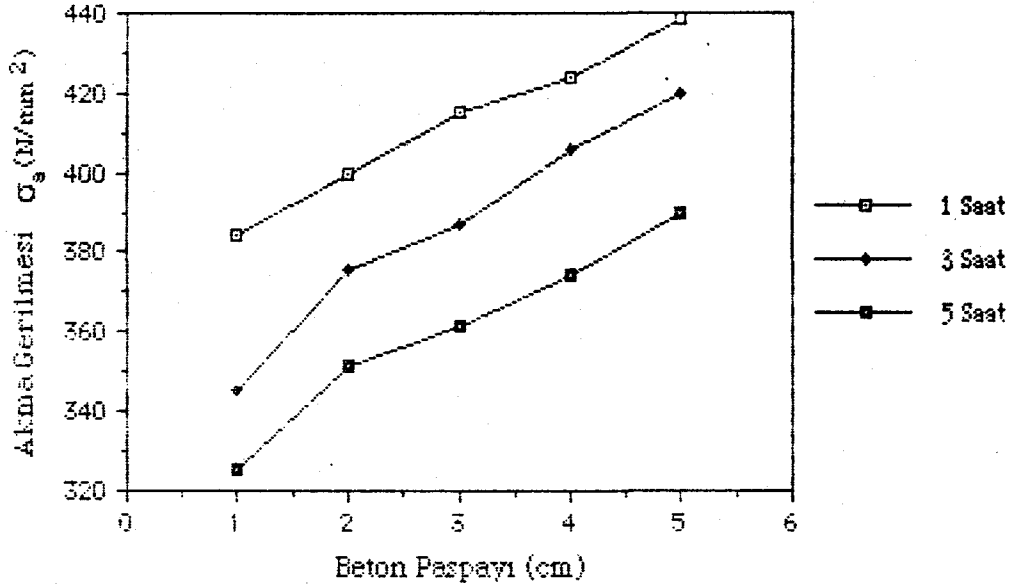
Şekil 4.15. 700 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



Şekil 4.16. 700 °C ' de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

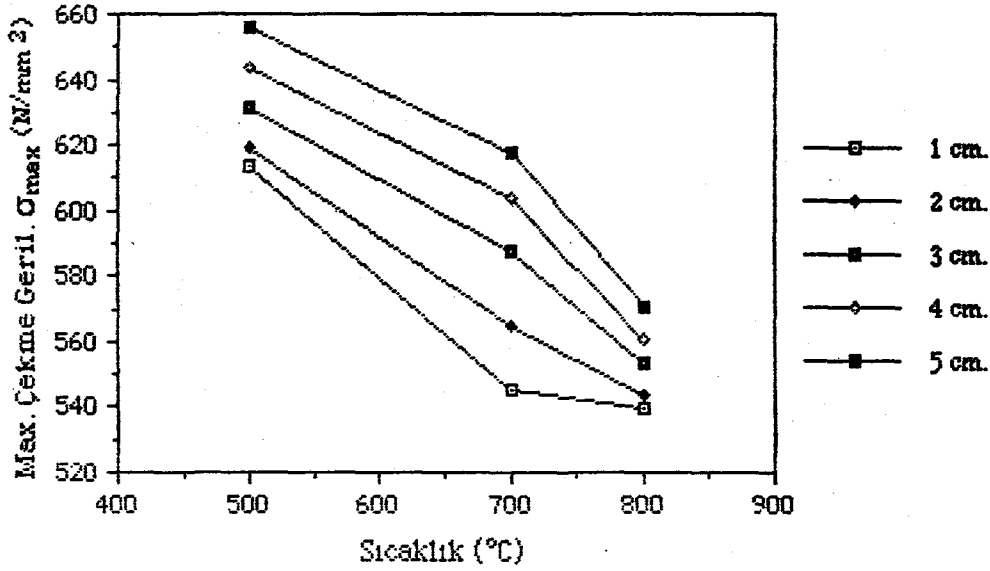


Şekil 4.17. 800 °C ' de BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

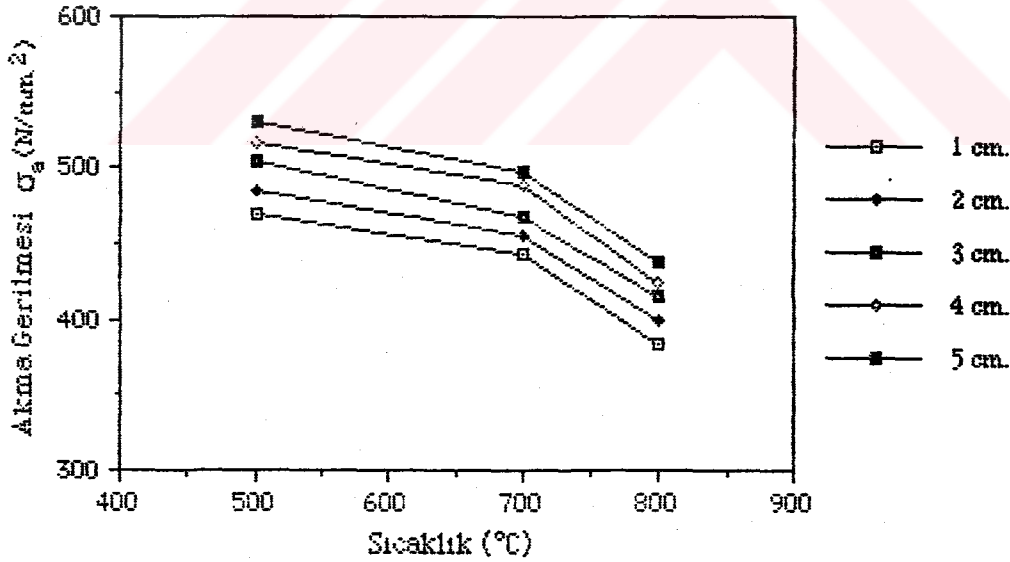


Şekil 4.18. 800 °C 'de BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

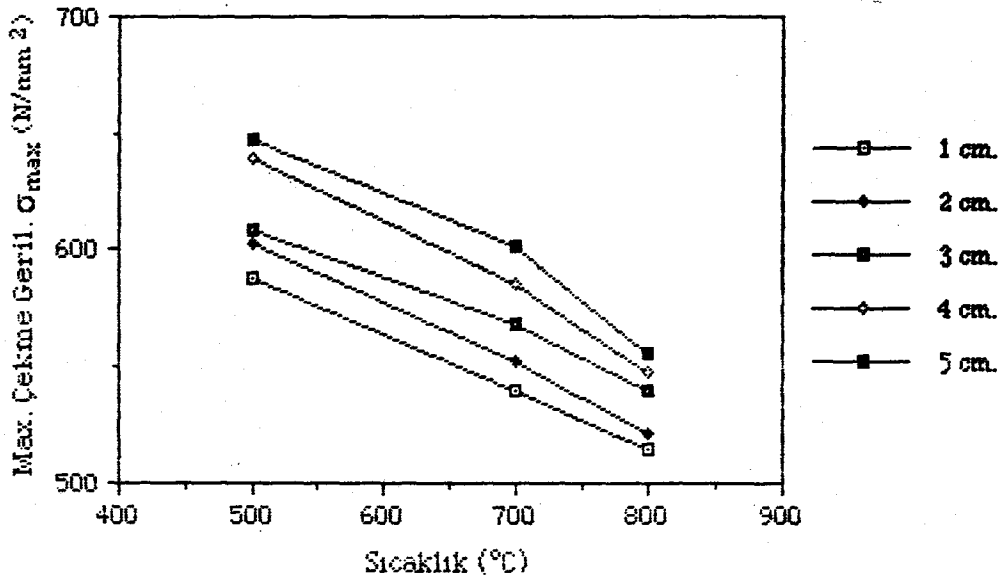
BÇ I çeliğine göre daha mukavemetli olan ve daha büyük yüklere dayanabilen BÇ III çeliklerinde, Şekil 4.13'den 4.18'e kadar olan şekillerden de görüleceği gibi, çeliği saran beton kalınlığının artması ve çeliğin ısı etkilerinde daha kısa süreli tutulması ile, BÇ I çeliğindeki benzer şekilde mukavemet düşmesi azalmakta, yani bir anlamda orijinal mukavemet değerleri kısmen korunmaktadır. Artan çalışma sıcaklıklarının etkileriyle, mukavemet değerlerindeki düşüş aynı kalınlık ve süreler için daha yüksek oranlarda gerçekleşmektedir.



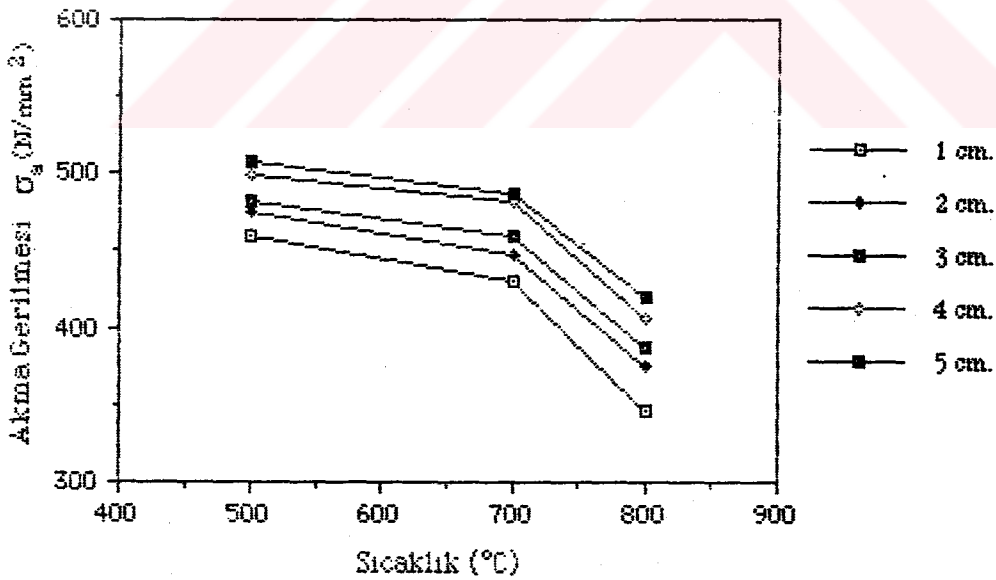
Şekil 4.19. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



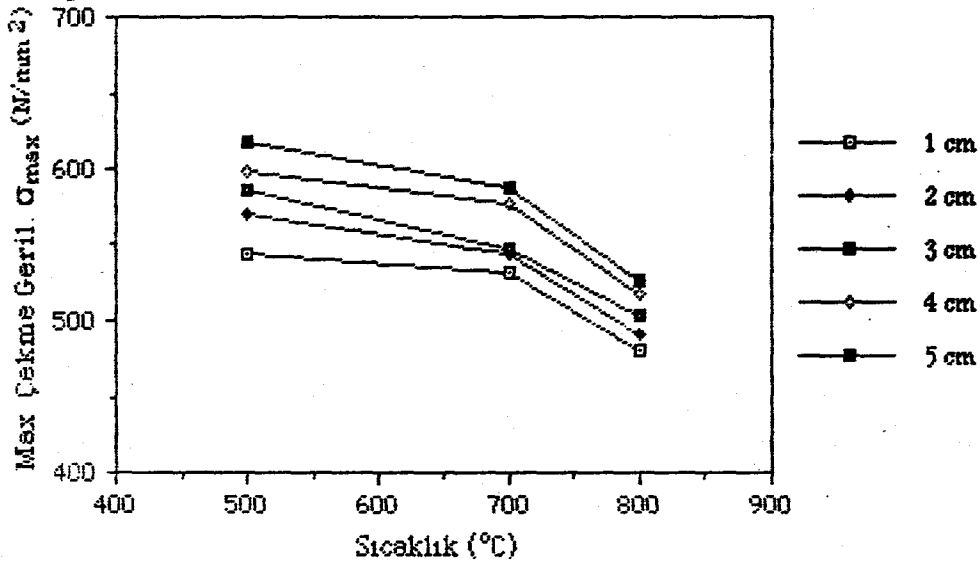
Şekil 4.20. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



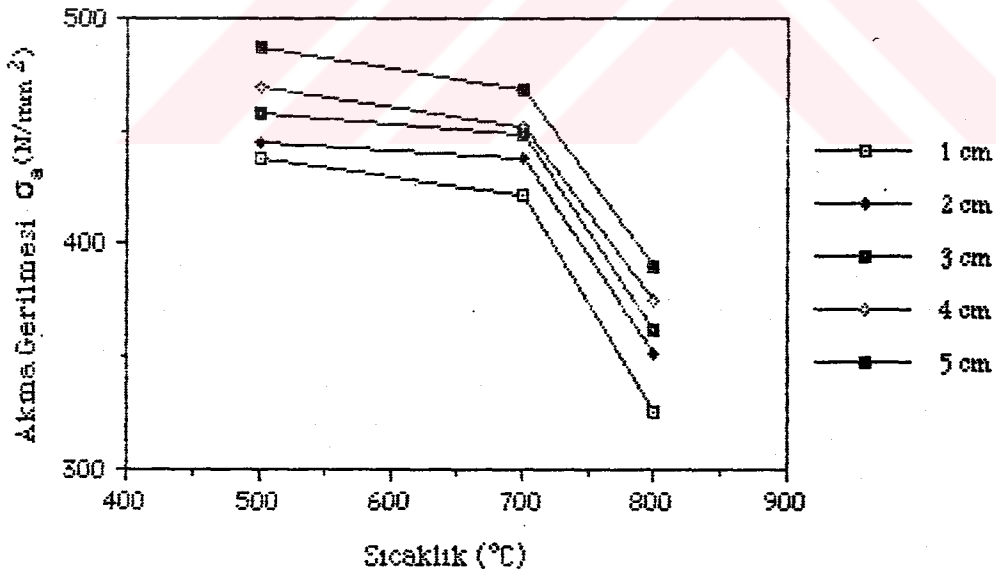
Şekil 4.21. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.22. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



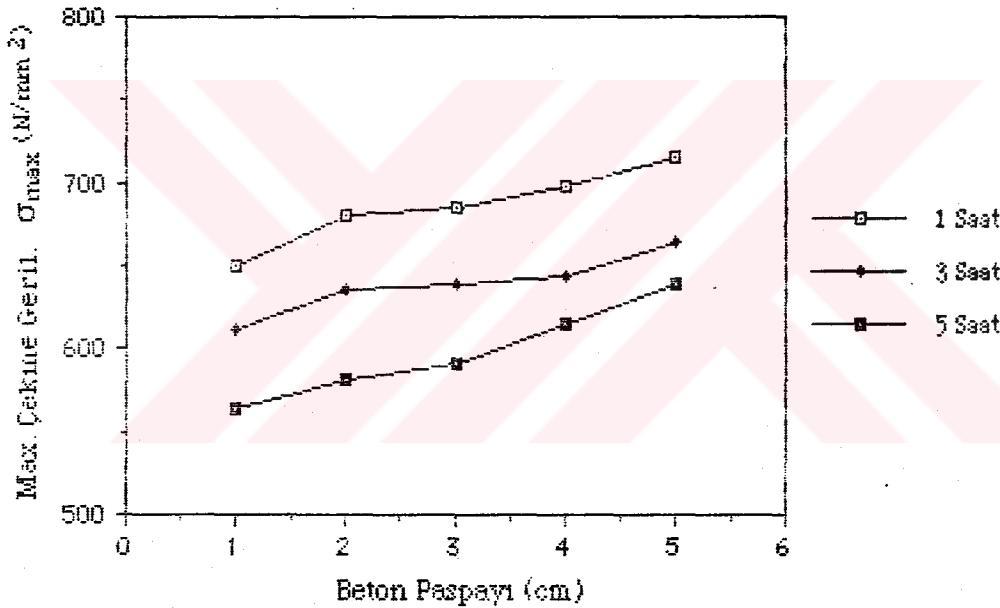
Şekil 4.23. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



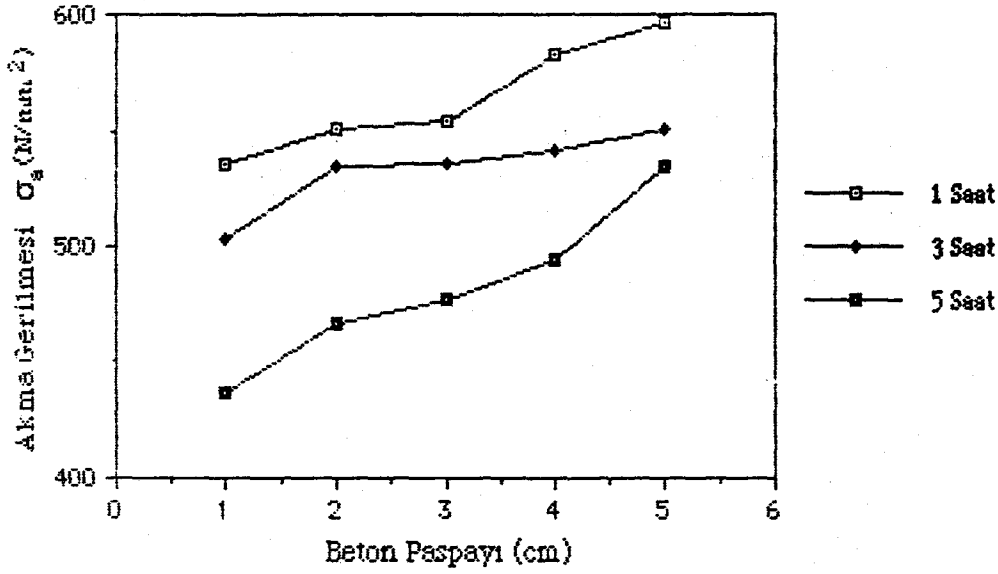
Şekil 4.24. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Aynı beton örtü katı kalınlığında artan tavlama sıcaklığı etkisiyle yaklaşık 700 °C 'ye kadar BÇ III çeliğinin mukavemetindeki azalma yavaş yavaş cereyan ederken, bu sıcaklığın aşılması ile mukavemet şiddetle düşmektedir. Bu nedenle, yüksek sıcaklık etkilerine maruz kalan betonarme yapılarda, sıcaklığın çok kısa süreli de olsa söz konusu sıcaklığın üzerine çıkmasının kesinlikle önlenmesi gerekir.

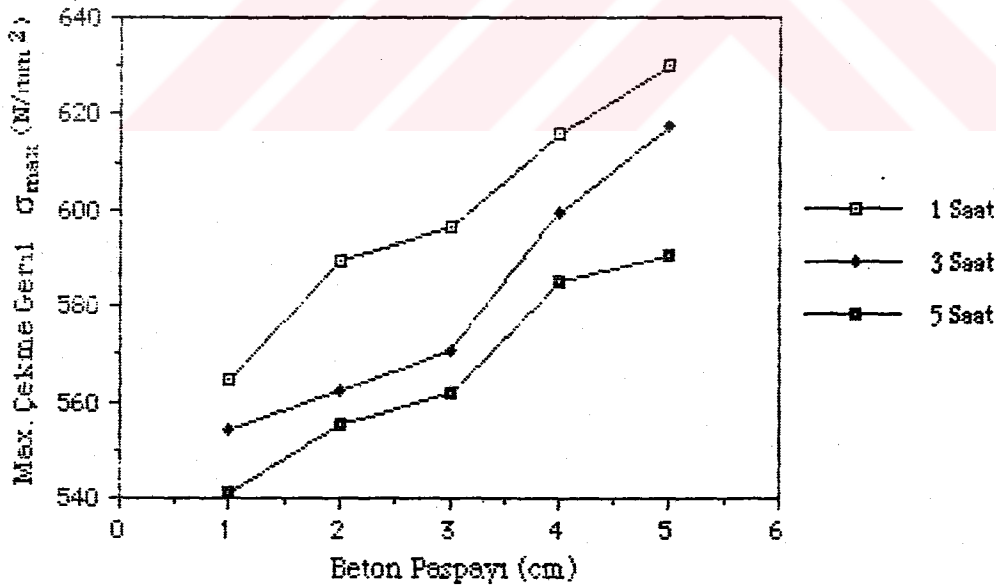
4.2.3. BÇ IV çeliğinde mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



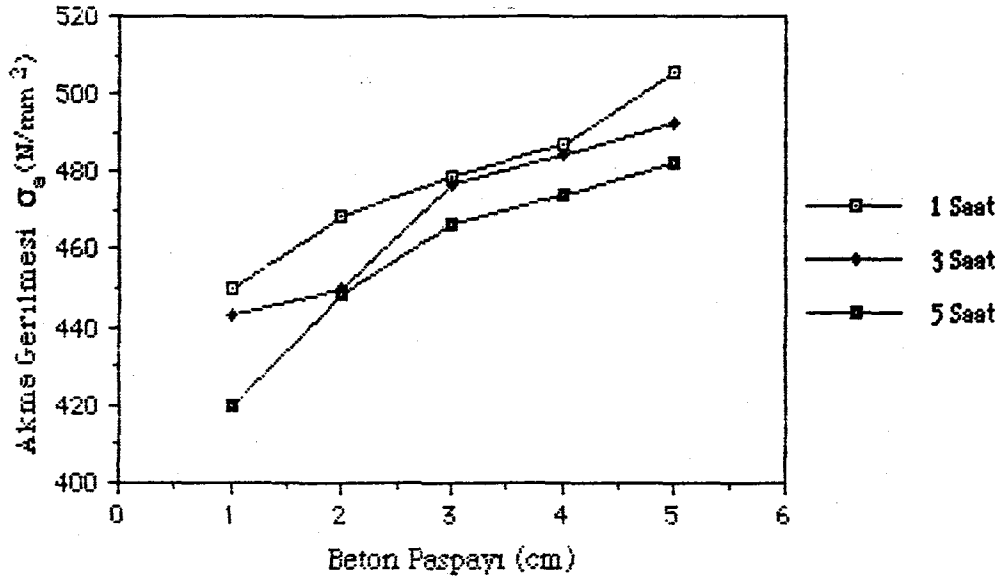
Şekil 4.25. 500 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



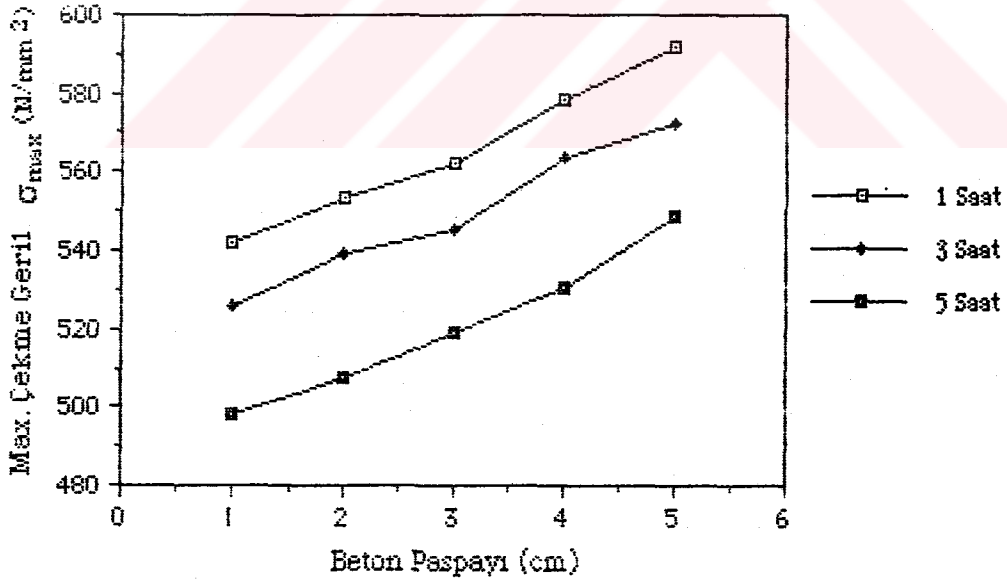
Şekil 4.26. 500 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



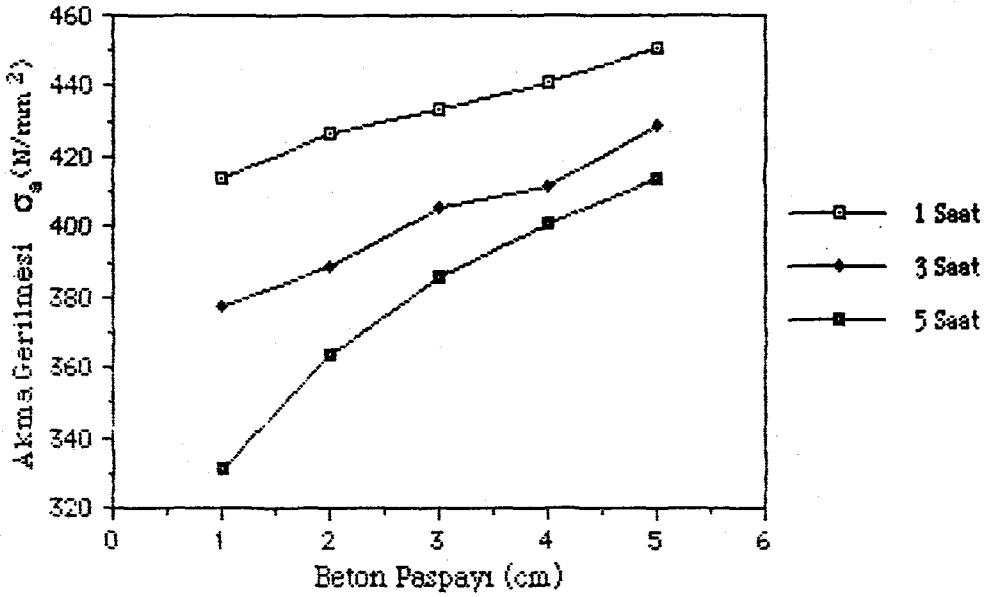
Şekil 4.27. 700 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



Şekil 4.28. 700 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



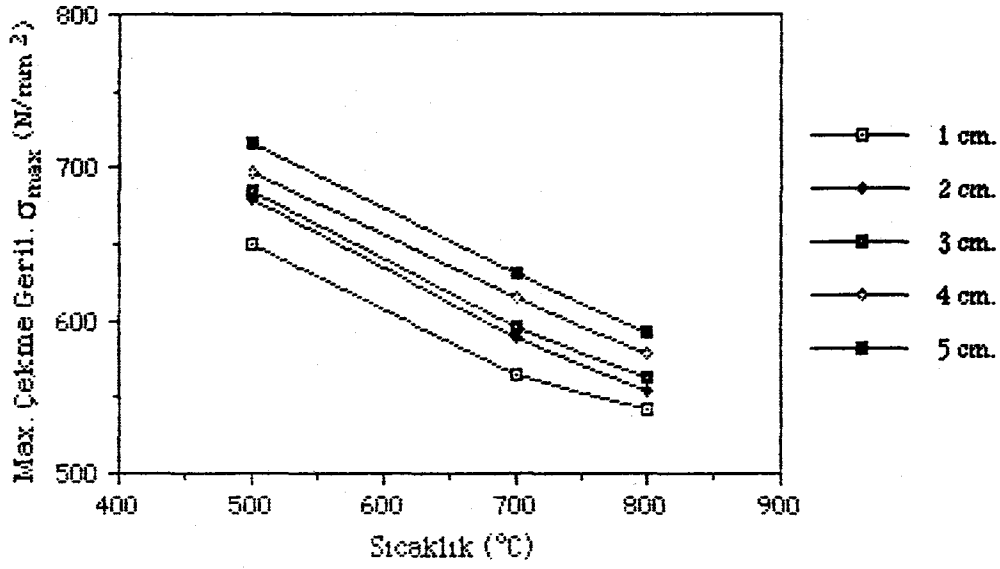
Şekil 4.29. 800 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.



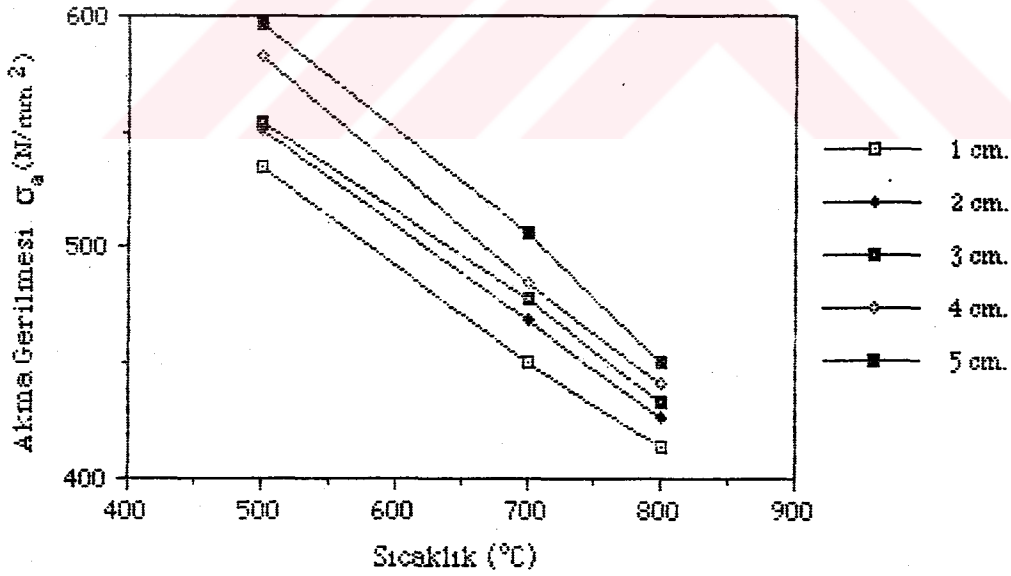
Şekil 4.30. 800 °C 'de BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin çelik üzerindeki betonun kalınlığına ve fırın tavlama sıcaklığı sürelerine bağlı değişimi.

Şekil 4.25 'ten 4.30 'a kadar olan şekillerde BÇ IV çeliğinin beton örtü katı kalınlığı, tav sıcaklığı ve çalışma sürelerine bağlı maksimum çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerindeki düşme değerleri verilmiştir.

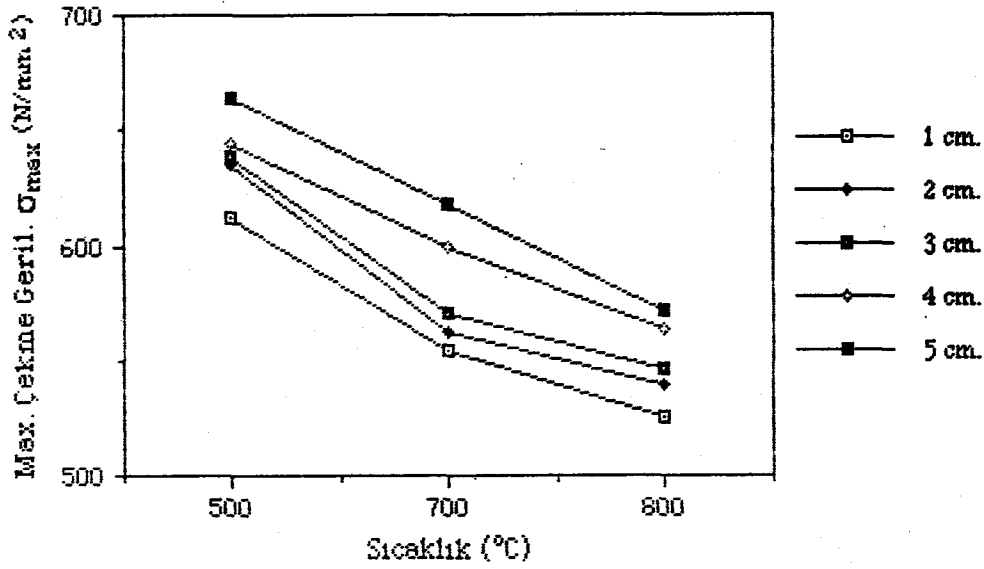
Bu şekillerden de sıcaklığın, ısı etkime süresinin artması ve beton üstü örtü katının azalması ile; çelikte mukavemet düşmesinin hızlandığı açıkça görülmektedir. Bu düşmenin nedeni BÇ I ve BÇ III çeliklerinde açıklanan nedenlerle aynıdır.



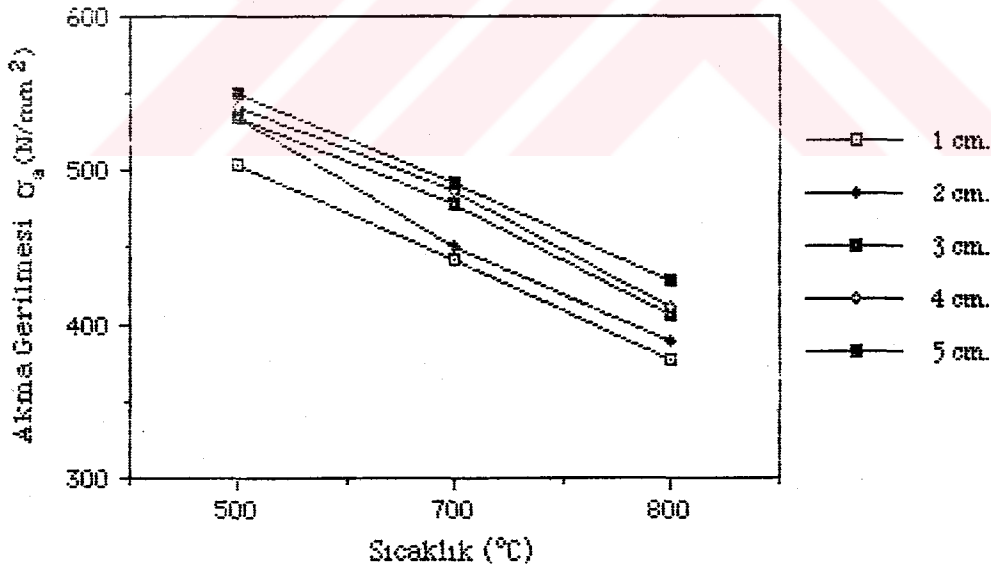
Şekil 4.31. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



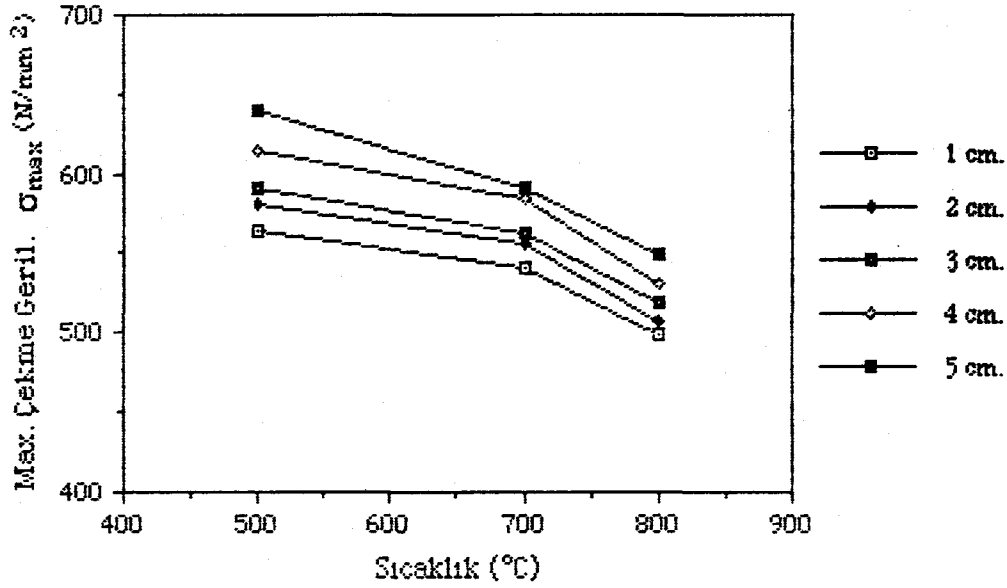
Şekil 4.32. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



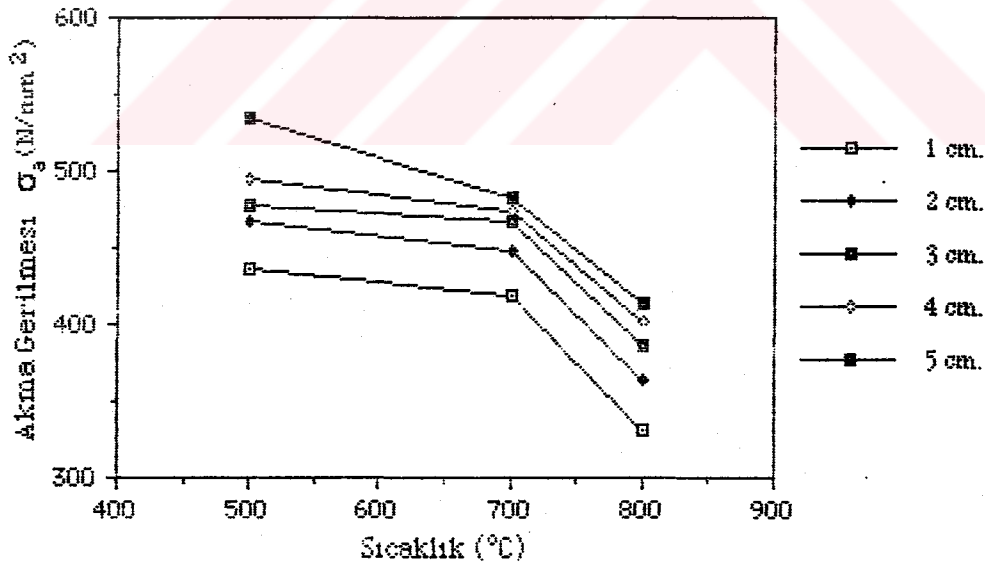
Şekil 4.33. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.34. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.35. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin maksimum çekme gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



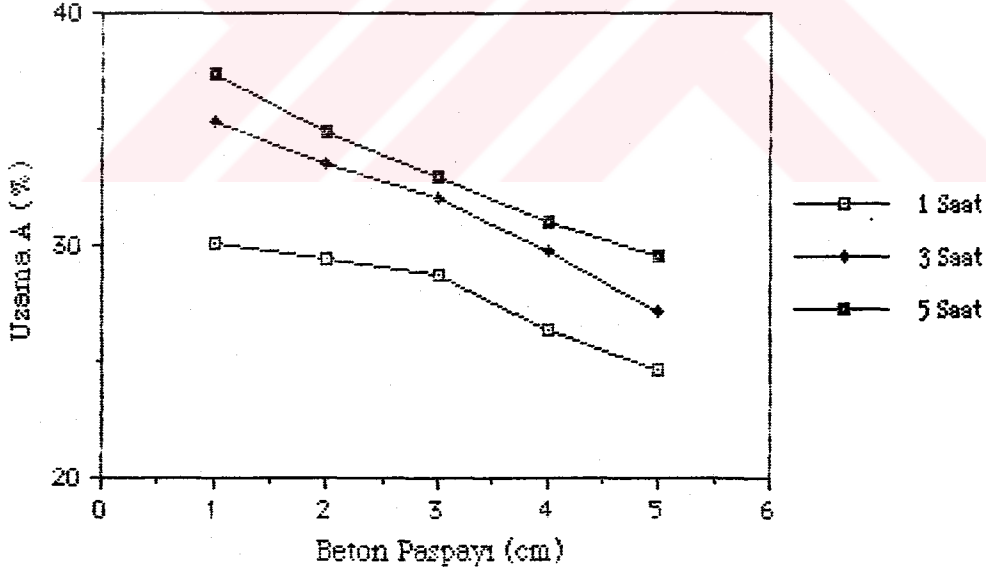
Şekil 4.36. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin akma gerilmesi değerlerinin fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.30'dan 4.36'ya kadar olan diyagramlarda BÇ IV çeliğinde aynı örtü kalınlıklarında ya da aynı çalışma sürelerinde elde edilen maksimum çekme ve akma gerilmelerindeki düşme değerleri verilmiştir.

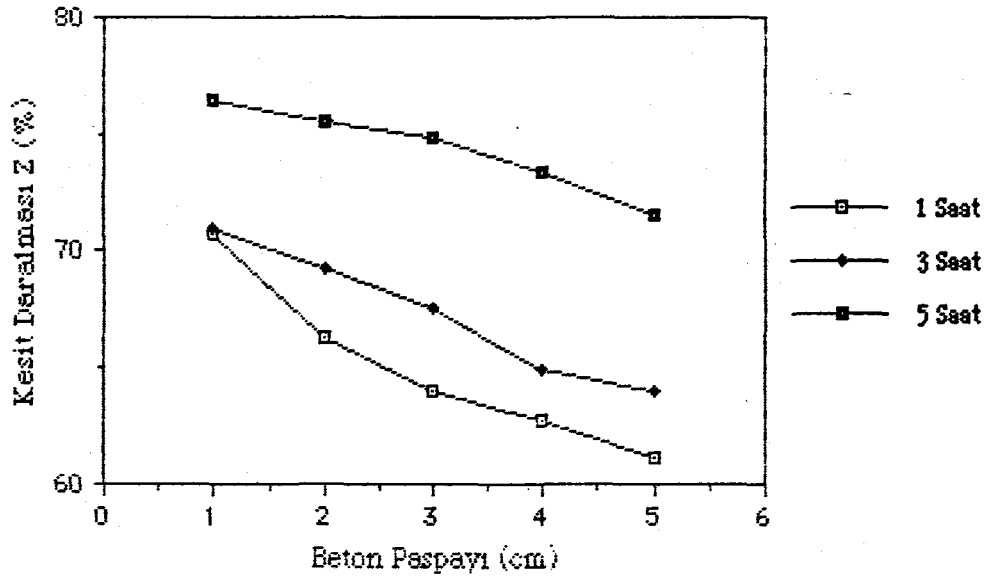
Yapılan deneyler; artan çalışma sıcaklıkları ile BÇ I ve BÇ III'den daha mukavemetli olan BÇ IV çeliğinde de yine mukavemet özellikleri olan maksimum çekme gerilmesi ve akma gerilmesi değerlerinin hızla düştüğü sonucuna varılmıştır. Burada da yine 700 °C 'ye kadar düşüş biraz yavaş cereyan ederken, bu sıcaklık aşıldığında mukavemet hızla düşüp azalma eğilimi göstermektedir.

4.3. Çeliklerde Süneklik Özelliklerinin Beton Kalınlığı, Sıcaklık ve Süreye Bağlı Değişimi

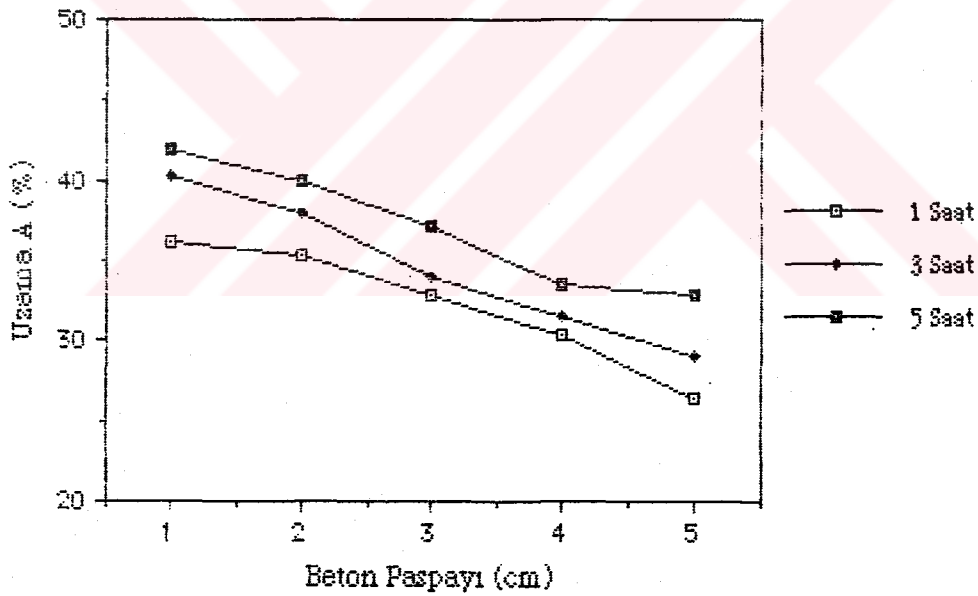
4.3.1. BÇ I çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



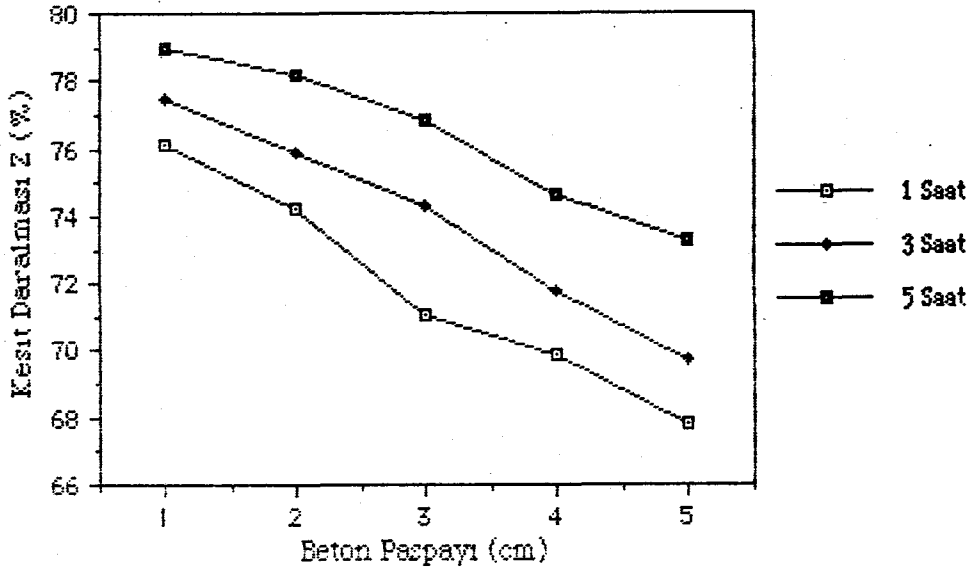
Şekil 4.37. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



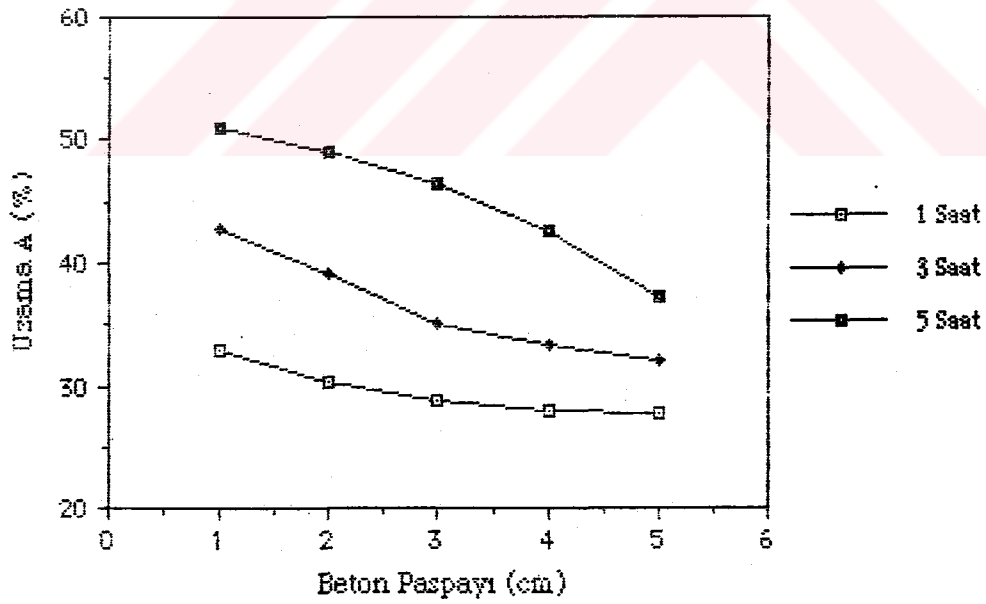
Şekil 4.38. Fırın içerisinde 500 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.



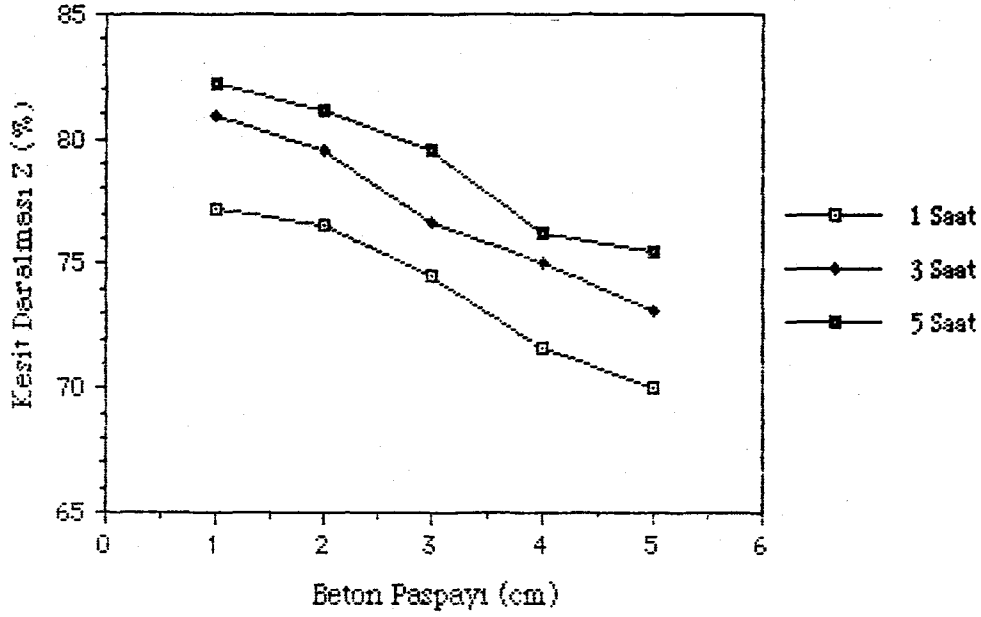
Şekil 4.39. Fırın içerisinde 700 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



Şekil 4.40. Fırın içerisinde 700 °C'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

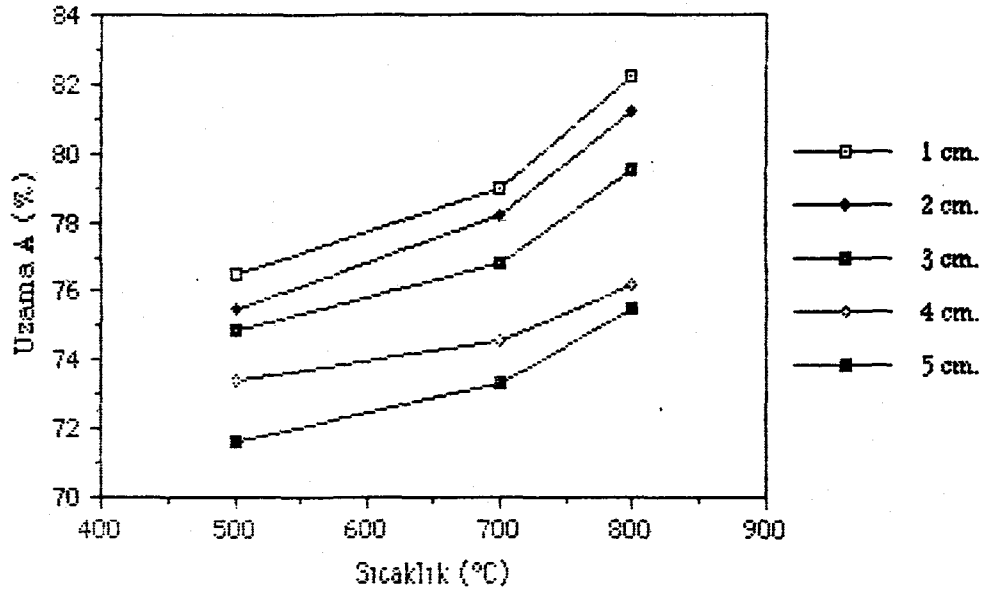


Şekil 4.41. Fırın içerisinde 800 °C'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

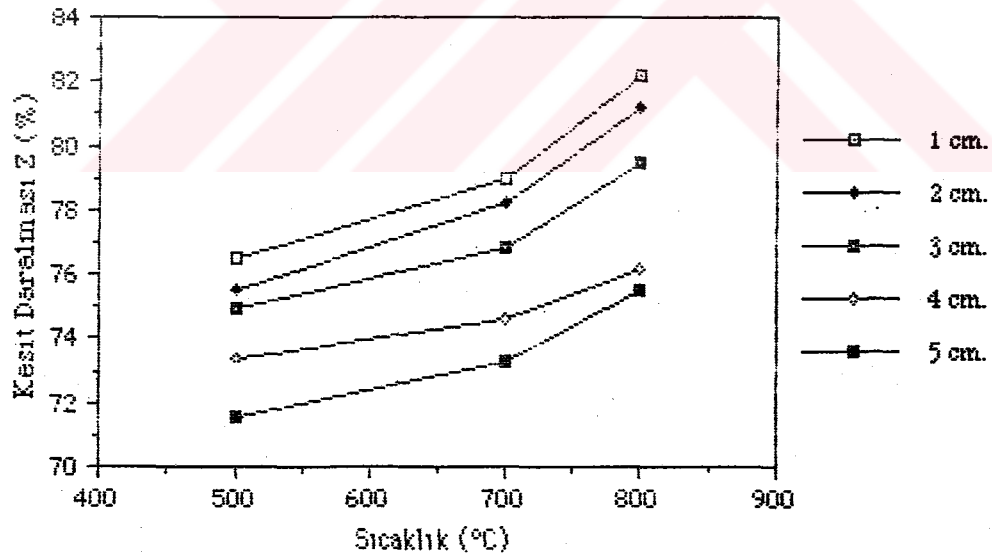


Şekil 4.42. Fırın içerisinde 800 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-I betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

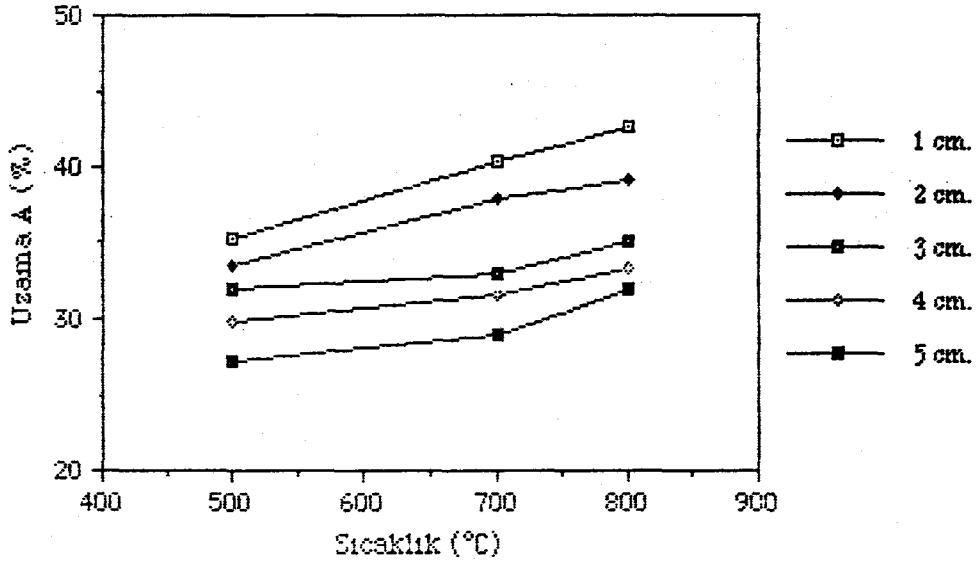
Şekil 4.38.'den 4.42'ye kadar olan diyagramlardan; 500 °C, 700 °C ve 800 °C sabit sıcaklıklarda BÇ I çeliğinde; artan tavlama süresi ile çeliğin süneklik büyüklükleri olan uzama ve kesit daralması değerleri artarken, bu artış çelik çubuğu saran beton kalınlığının artması ile daha da hissedilir şekilde kendisini belli etmektedir. Artan tavlama sıcaklığı ile, bekleme süresine bağlı olarak parçalarda yumuşama meydana gelmesi, atom hareketlerinin hızlanması ve malzemenin soğuk ve sıcak biçimlendirmeden ileri gelen iç gerginliklerinin kaybolması sonucu numunelerde süneklik artmaktadır. Artan beton kalınlığında yumuşama etkisinin daha da fazılaşmasının nedeni ise, tavlama işlemi bittikten sonra, kalın beton tabakanın yüksek ısı kapasitesi nedeniyle numune tamamen soğuyuncaya kadar tavlama işleminin bir süre daha devam etmesiyle açıklanabilir.



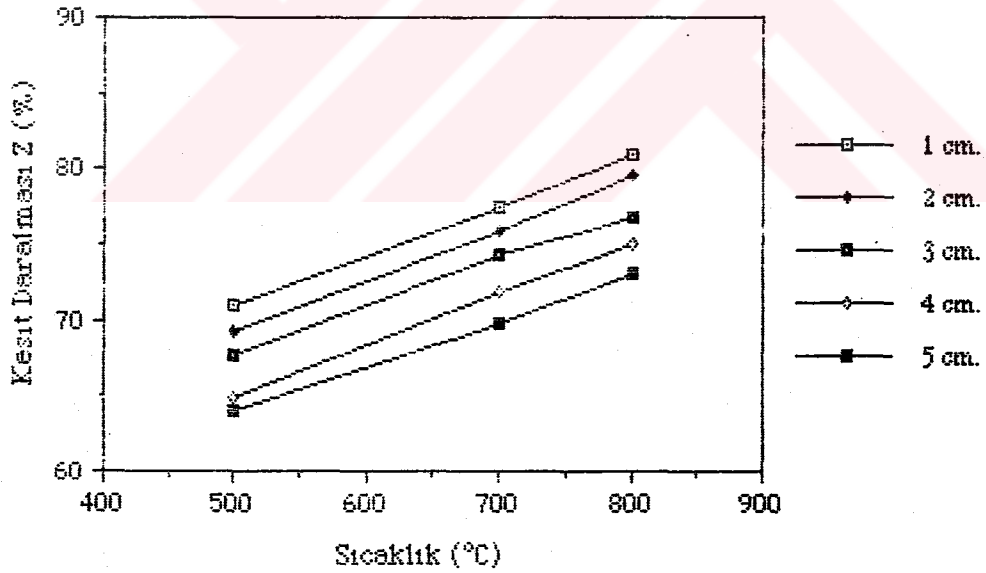
Şekil 4.43. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



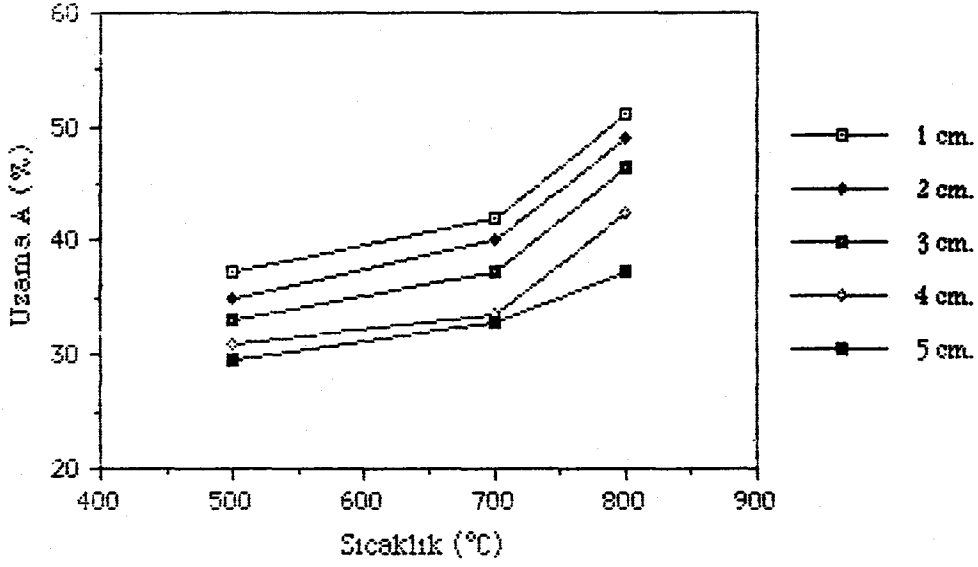
Şekil 4.44. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



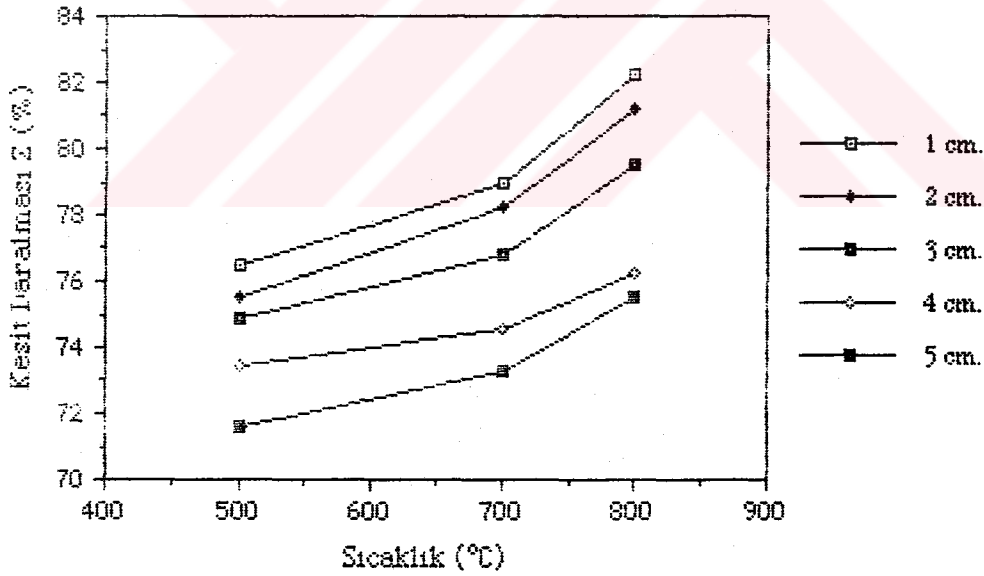
Şekil 4.45. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.46. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.47. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-I çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

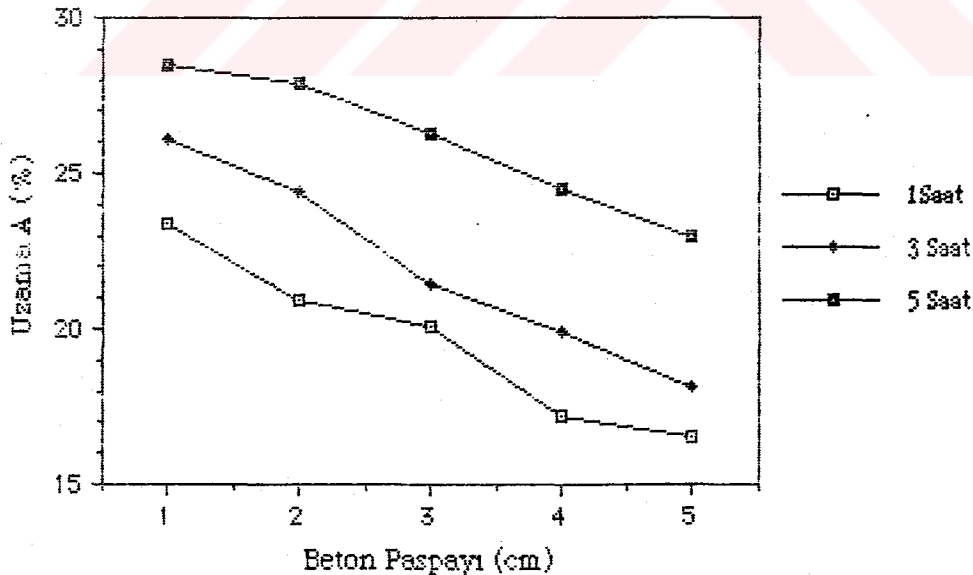


Şekil 4.48. Fırında 5 saat bekletilen BÇ I çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

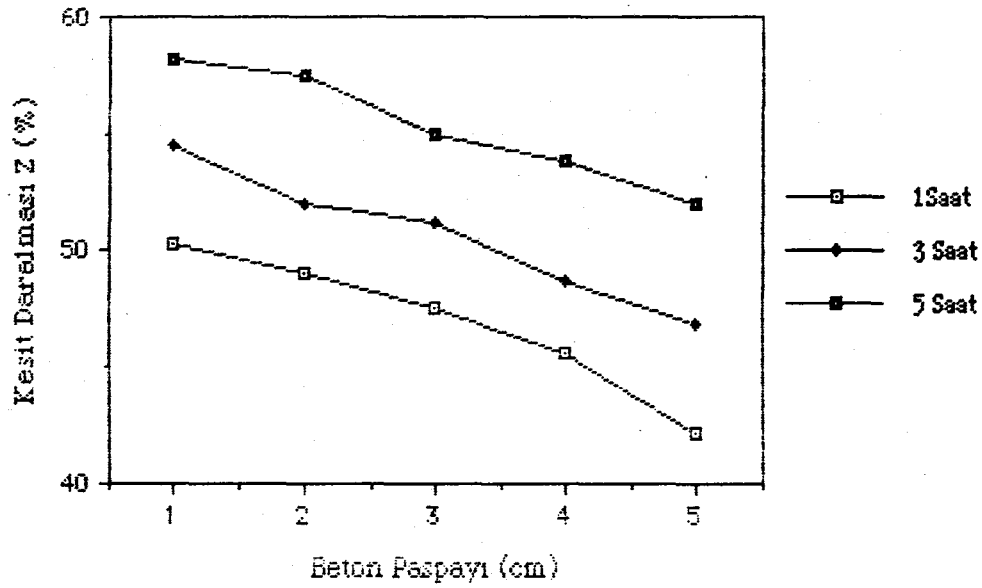
Şekil 4.43'den 4.48' kadar olan diyagramlardan görüldüğü gibi; 800 °C ve 700 °C sıcaklıklarda BÇ I çeliğinde elde edilen, süneklik özellikleri olan, uzama ve kesit daralması değerleri; 500 °C'de elde edilenlere göre biraz daha yüksek olmaktadır. Aynı çelikte artan sıcaklıkla sünekliğin artmasının nedeni, çelik bünyesindeki karbür ağının çözülmesi, tane irileşmesi ve buna bağlı yumuşamanın ortaya çıkmasıdır. Sabit sürelerde artan sıcaklıkla yaklaşık 700 °C dolaylarına kadar uzama, sürekli ve yaklaşık doğrusal olarak bir artış gösterirken, bu sıcaklığın aşılması ile birlikte ortaya çıkan aşırı derecede yumuşamaya bağlı olarak, süneklik özellikleri değerlerinde de aşırı bir artış gözlenmektedir.

Değişik sıcaklıklarda elde edilen uzama ve kesit daralması büyüklüklerine ait bulgular az çok paralellik göstermektedir. Süneklik özelliklerinde ortaya çıkan ve paralellliği kısmen bozan bazı farklılıklar, ısı etkisi altında kalan malzemenin fırın içerisindeki konum ve yerleşim durumunun az çok farklı olmasından ileri gelmektedir.

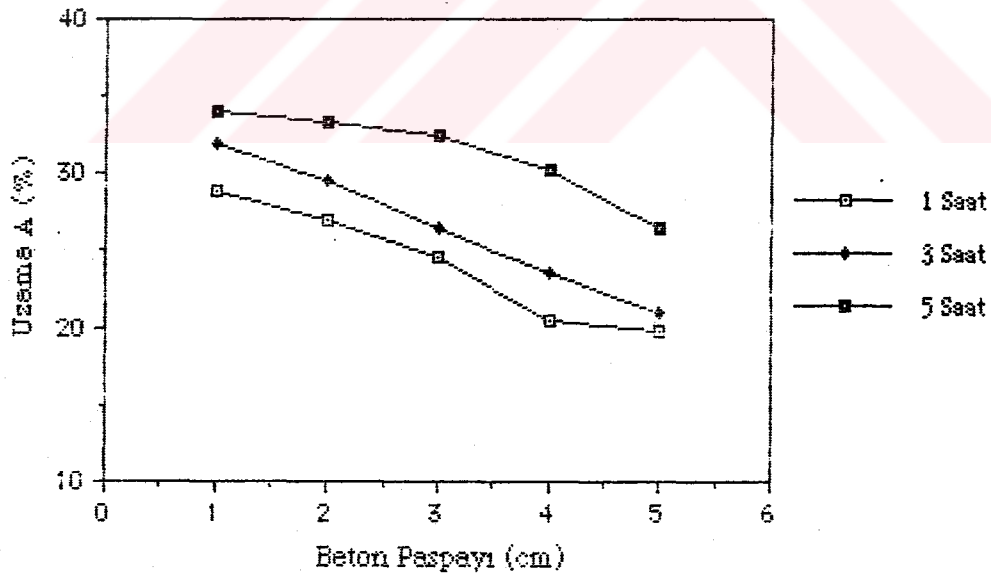
4.3.2. BÇ III çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



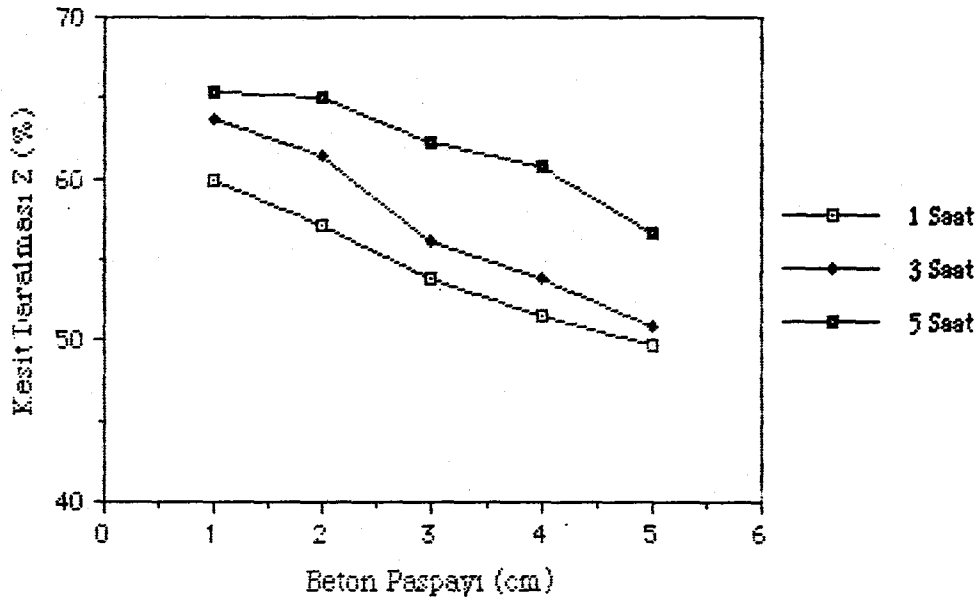
Şekil 4.49. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



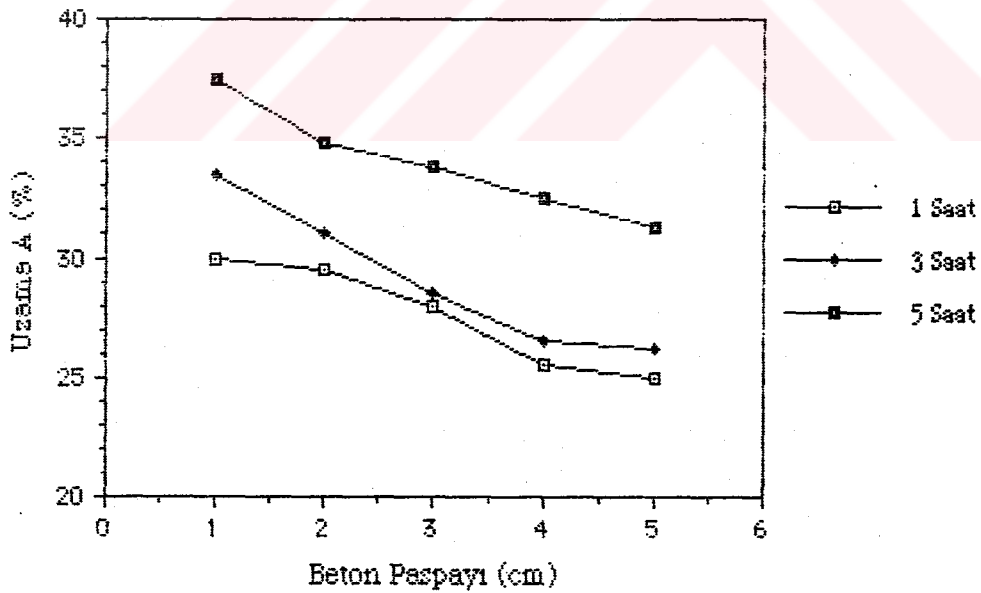
Şekil 4.50. Fırın içerisinde 500 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.



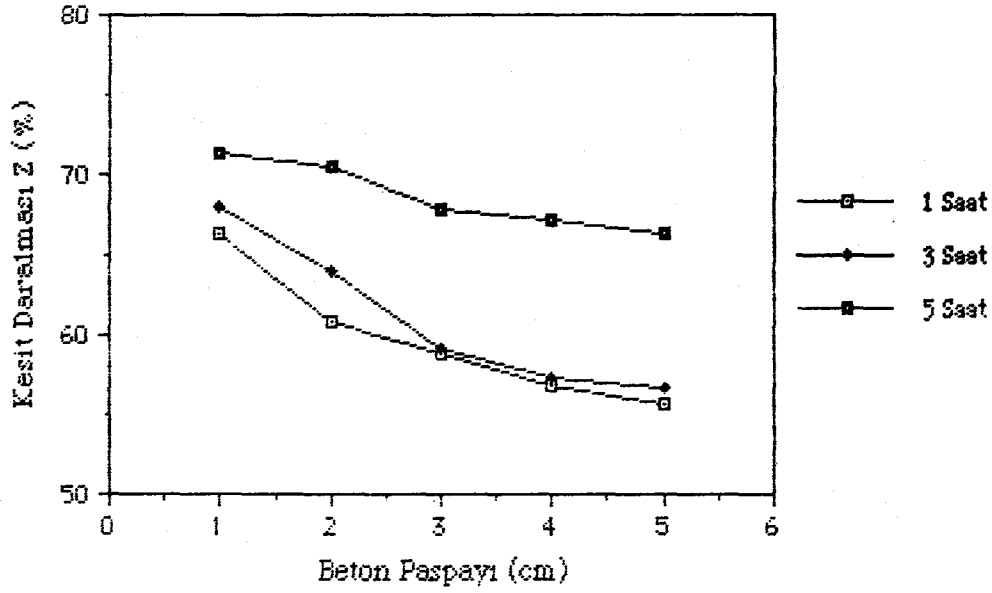
Şekil 4.51. Fırın içerisinde 700 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



Şekil 4.52. Fırın içerisinde 700 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

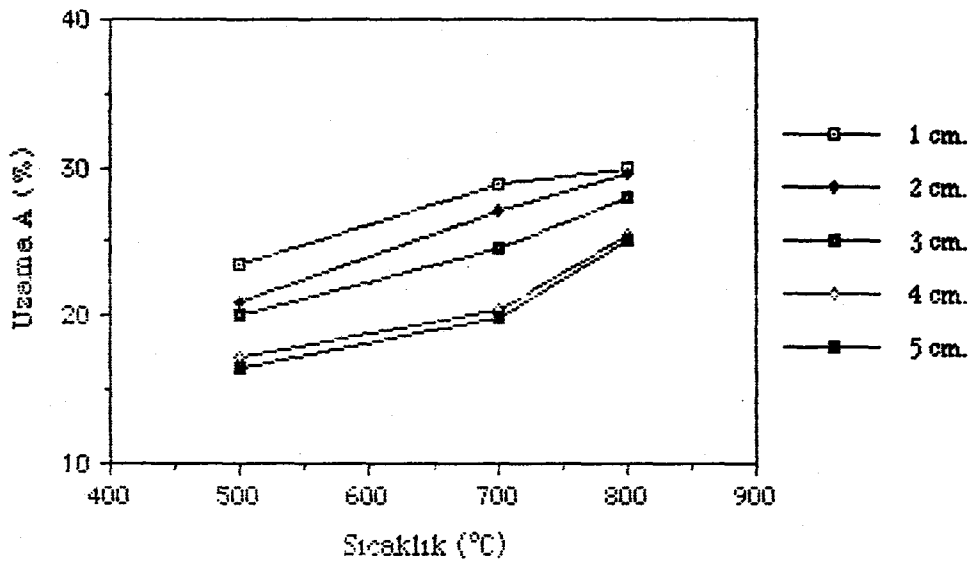


Şekil 4.53. Fırın içerisinde 800 °C 'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.

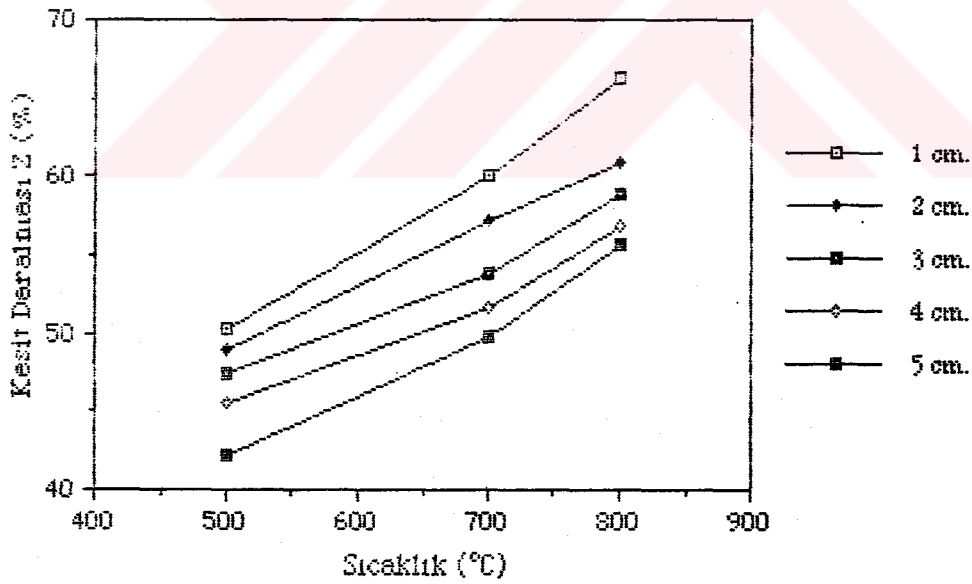


Şekil 4.54. Fırın içerisinde 800 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-III betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

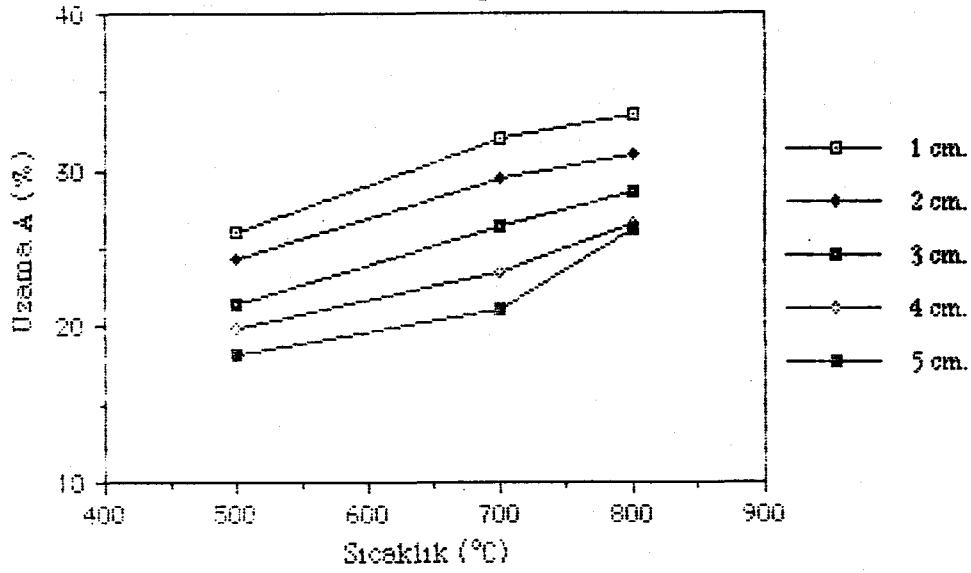
Şekil 4.49'dan 5.54'e kadar olan diyagramlarda BÇ III çeliğinin beton örtü kalınlığı, ısı etkiye süresi ve sıcaklığına bağlı süneklilik artışı değerleri verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi, süneklilik değerleri artan örtü katı kalınlığı ve azalan ısı etkiye sürelerine bağlı olarak düşme göstermektedir. Süresinin artması ile süneklilik bundan daha da fazla etkilenmektedir.



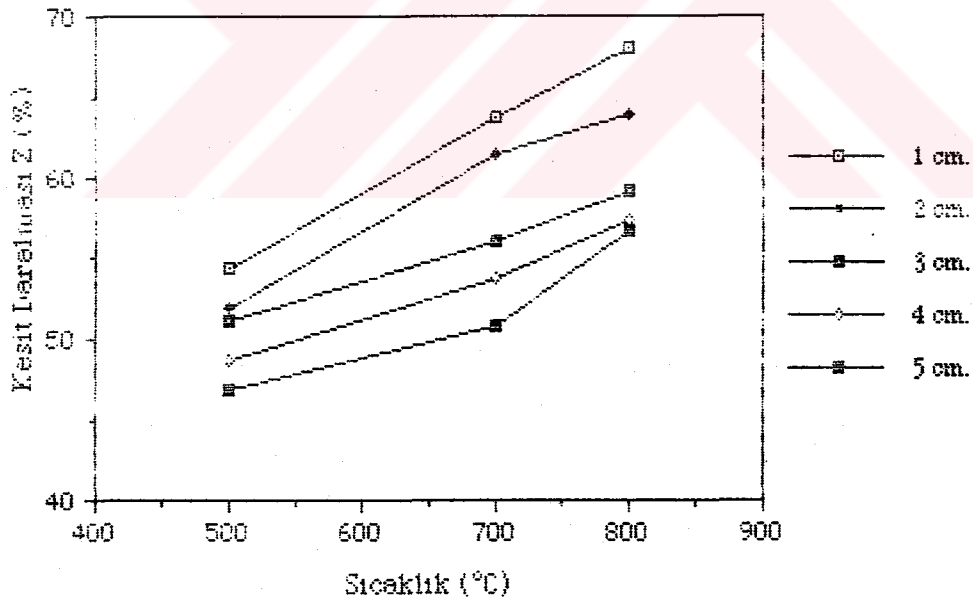
Şekil 4.55. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



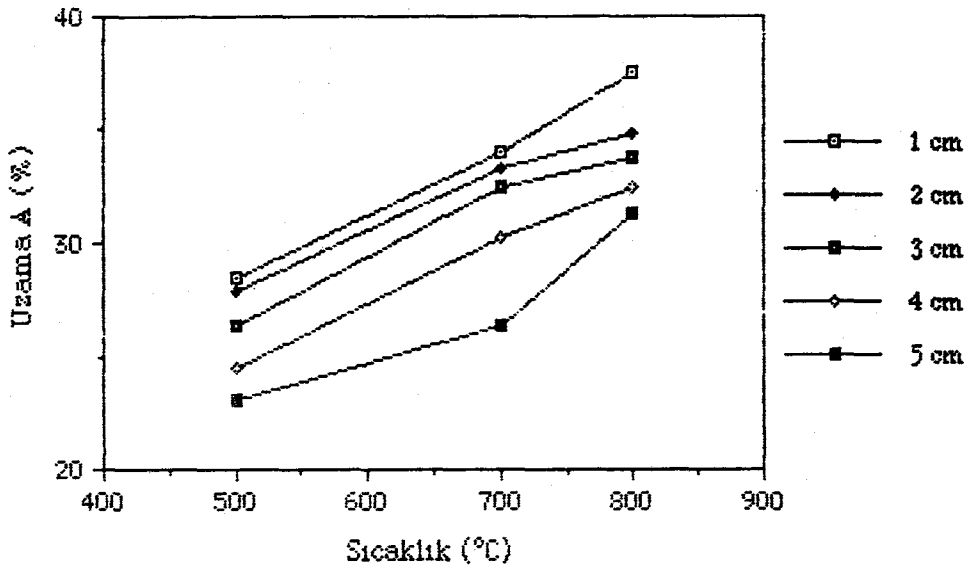
Şekil 4.56. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit deralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



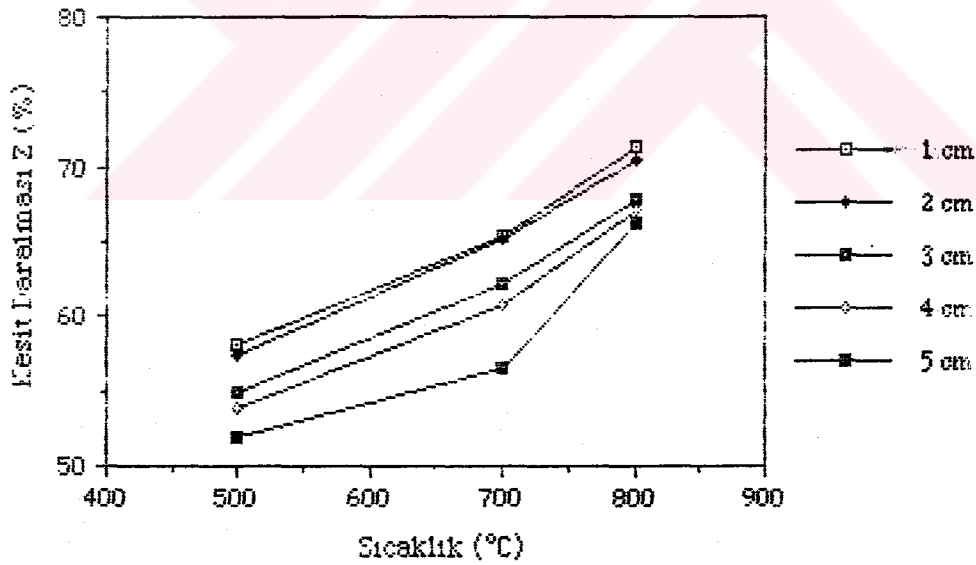
Şekil 4.57. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.58. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



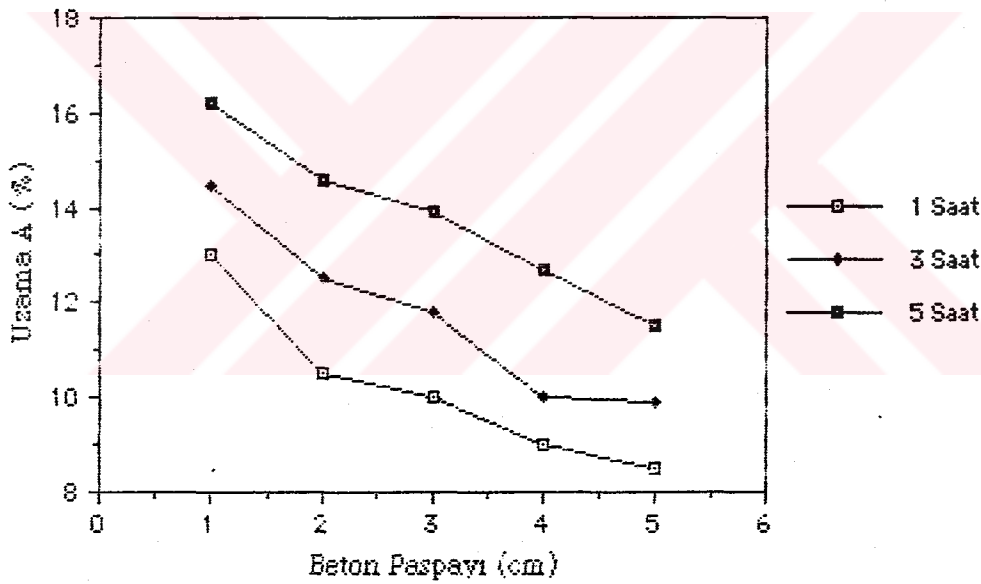
Şekil 4.59. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



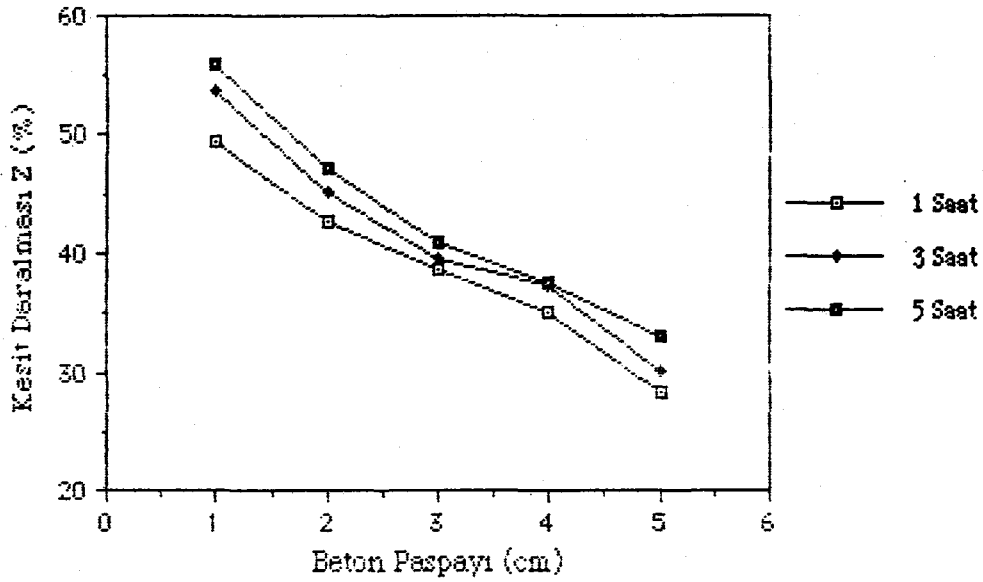
Şekil 4.60. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-III çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.55'den 4.60'a kadar olan diyagramlardan da görüleceği gibi, 700 °C 'ye kadar olan sıcaklıklarda, artan sıcaklıklarla süneklik özellikleri olan uzama ve kesit daralması değerleri yaklaşık doğrusal bir artış gösterirken; bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında süneklikte aşırı ve ani bir artış söz konusu olmaktadır. Sıcaklığa bağlı süneklik artışının nedeni, öncelikle parçalarda ortaya çıkan, karbür ağıının çözülmesinden ileri gelen yumuşamadır.

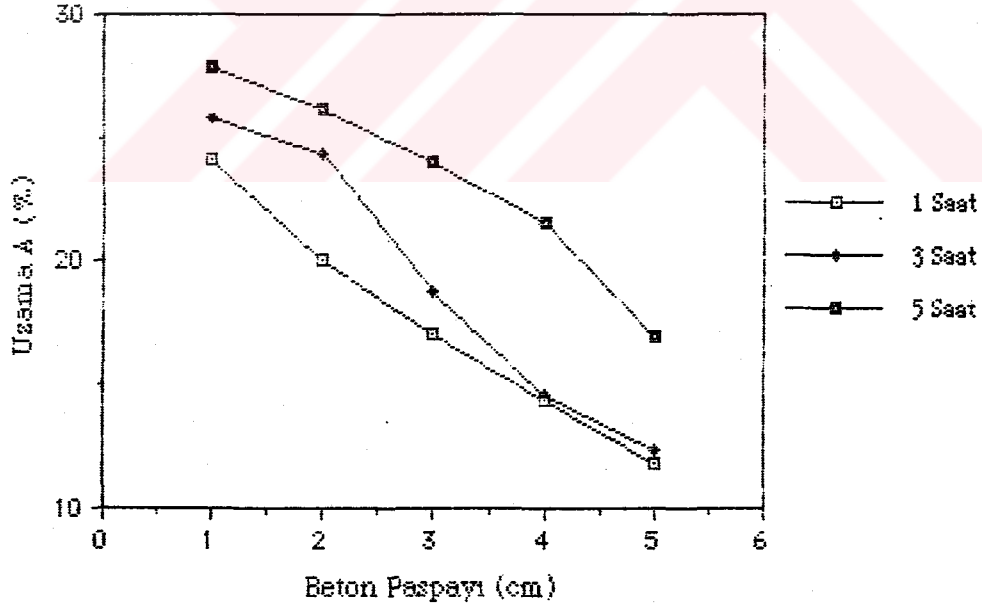
4.3.3. BÇ IV çeliğinde süneklik özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



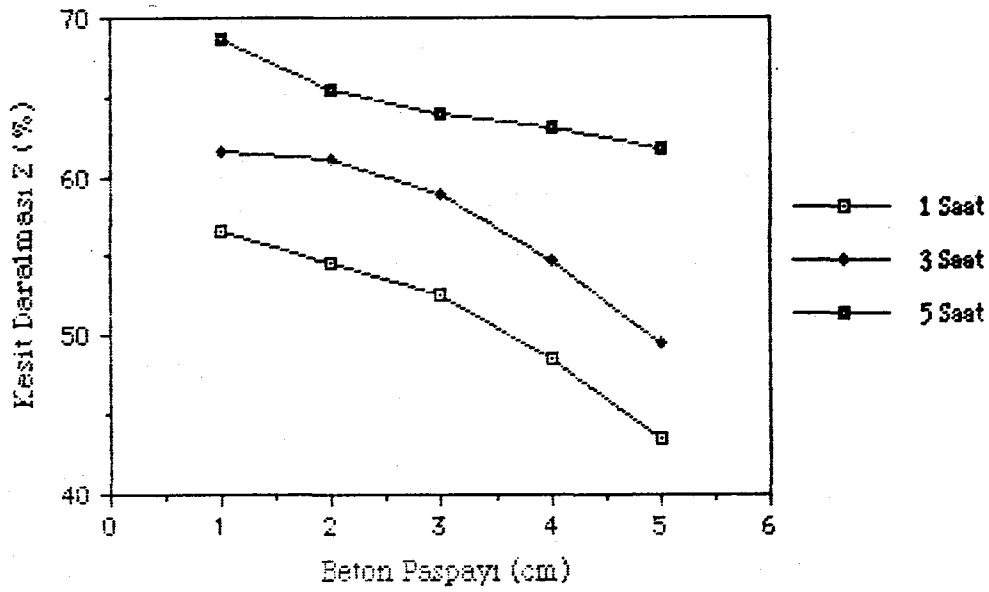
Şekil 4.61. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



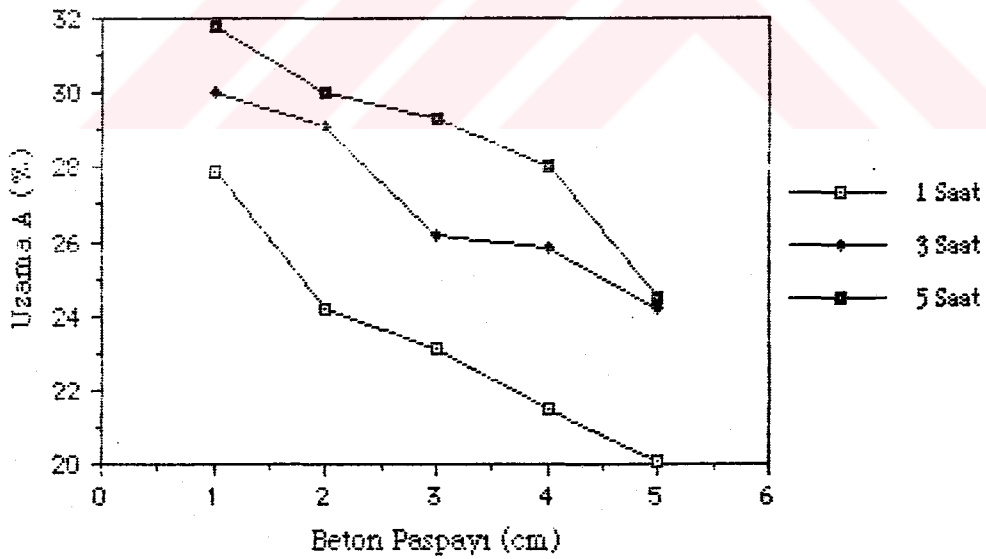
Şekil 4.62. Fırın içerisinde 500 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.



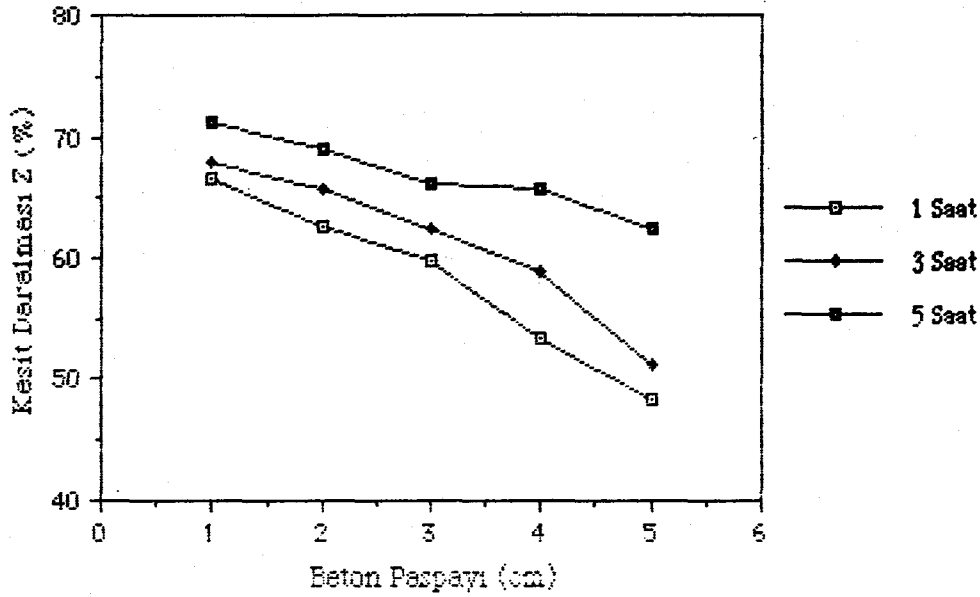
Şekil 4.63. Fırın içerisinde 700 °C 'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



Şekil 4.64. Fırın içerisinde 700 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.



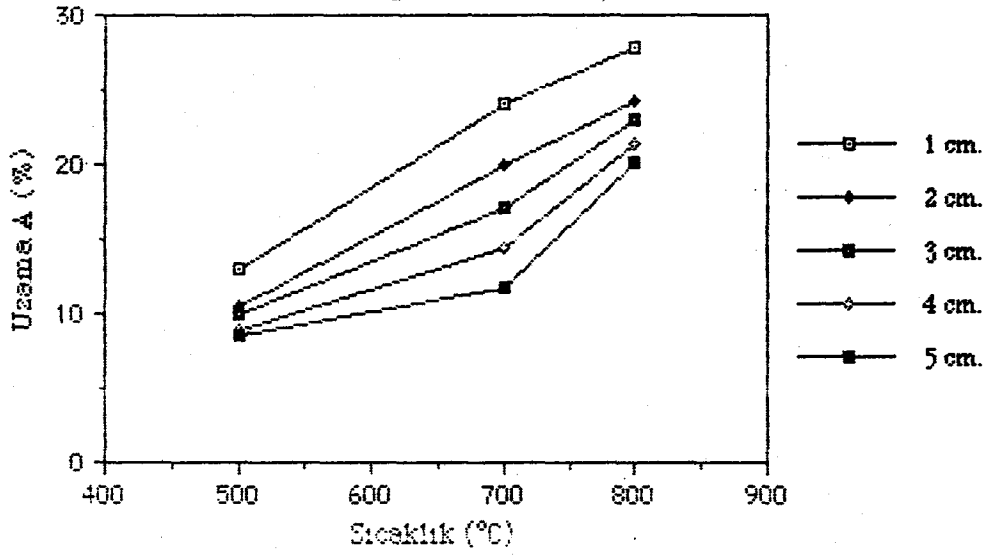
Şekil 4.65. Fırın içerisinde 800 °C'lık sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı uzama diyagramı.



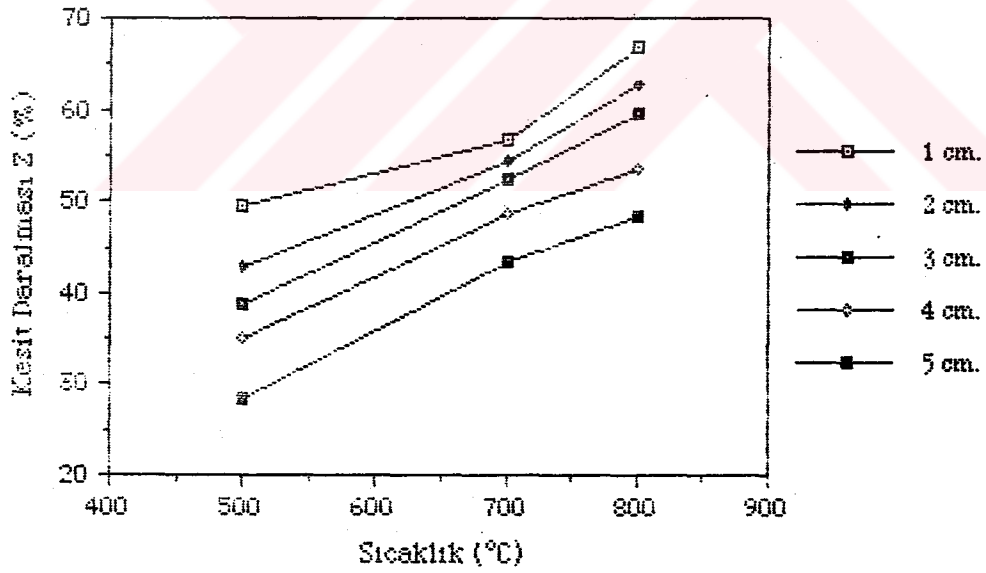
Şekil 4.66. Fırın içerisinde 800 °C'lik sıcaklık etkisine maruz kalmış, BÇ-IV betonarme çeliğinin üzerindeki beton kalınlığına bağlı kesit daralması diyagramı.

Şekil 4.61'den 4.66'ya kadar; BÇ IV çeliğinde beton örtü kalınlığı, ısı etkime süresi ve tav sıcaklıklarına bağlı uzama ve kesit daralması (süneklik) özelliklerinin değişimi incelenmiştir.

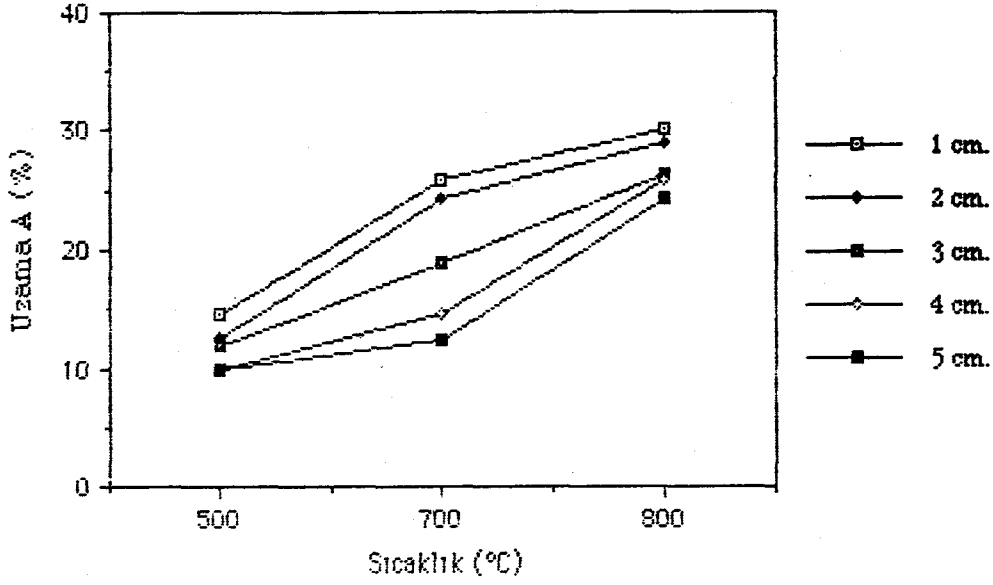
Yine bu çelikte de, artan örtü katı kalınlığı ve azalan süre ile parçada mukavemet özellikleri önemli ölçülerde düşme göstermediğinden, süneklik azalmaktadır. Bunun aksi durumunda, ortaya çıkan yumuşama etkisiyle, tıpkı BÇ I ve BÇ III çeliklerinde de olduğu gibi süneklikte artma eğilimi ortaya çıkmaktadır.



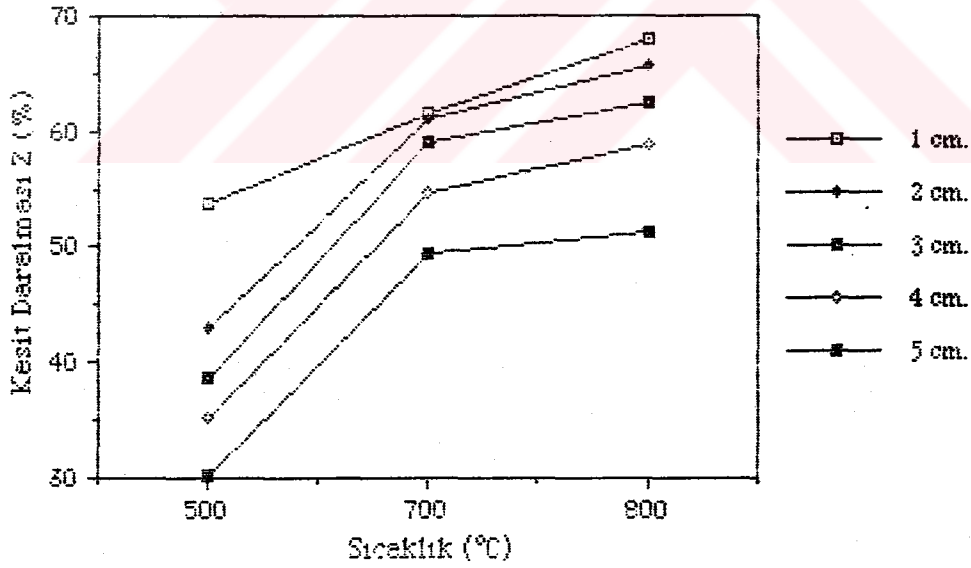
Şekil 4.67. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



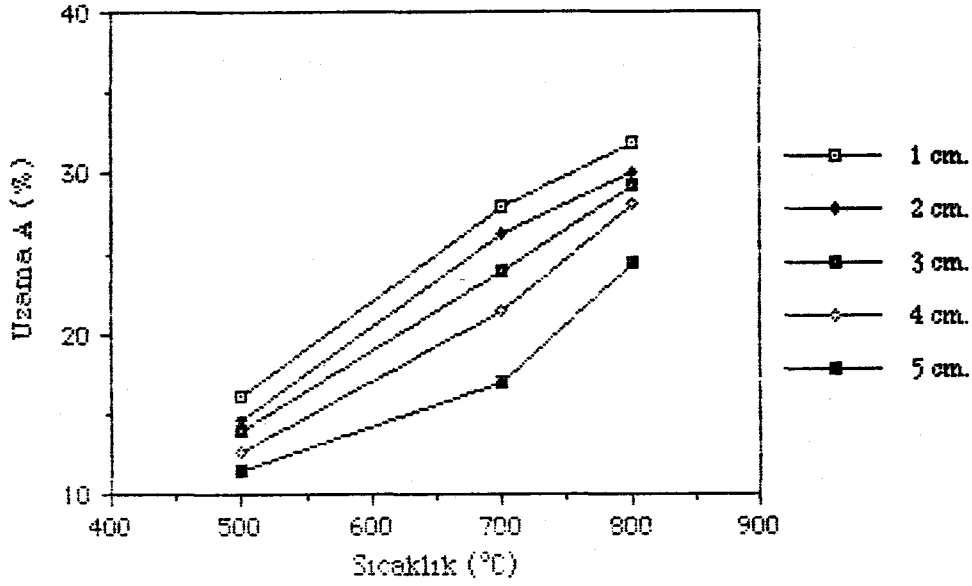
Şekil 4.68. Fırında 1 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



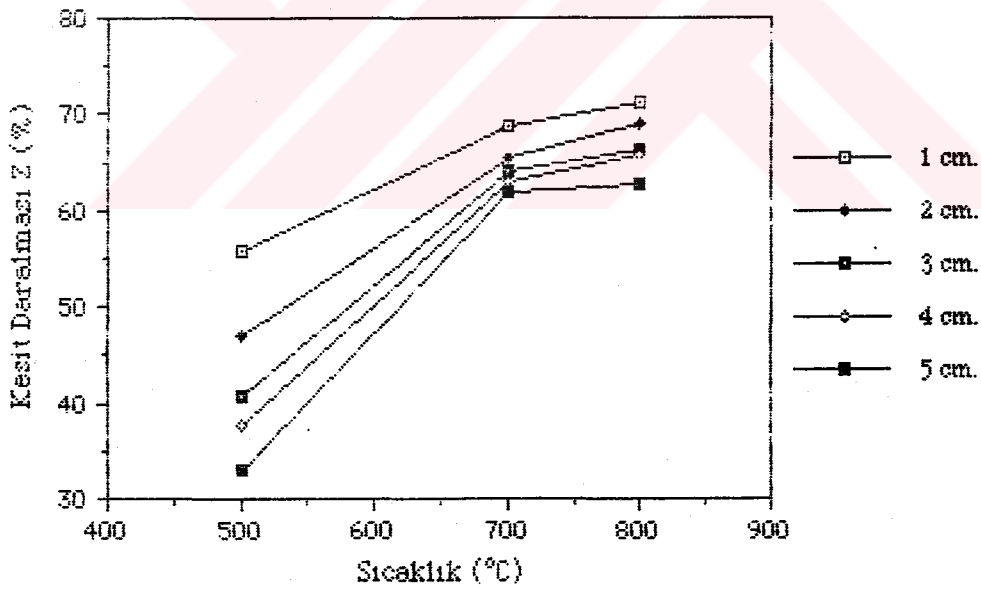
Şekil 4.69. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.70. Fırında 3 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.71. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin uzamalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

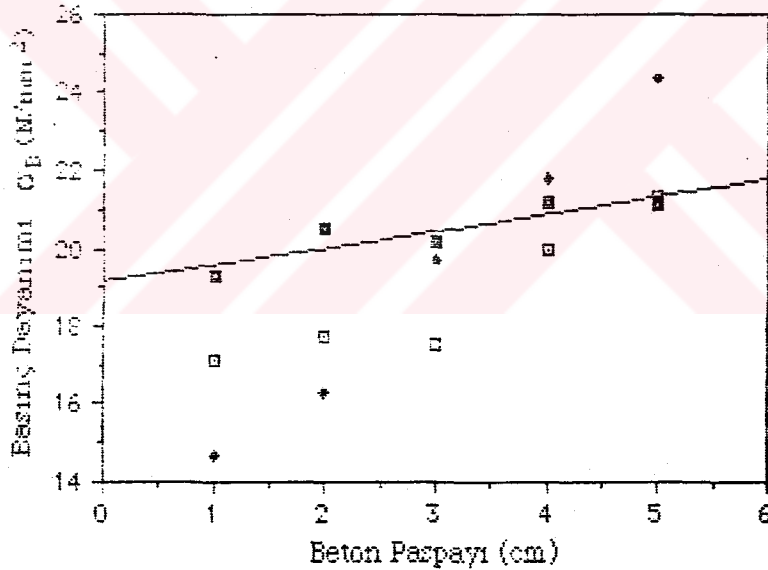


Şekil 4.72. Fırında 5 saat bekletilen BÇ-IV çeliklerinin kesit daralmalarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

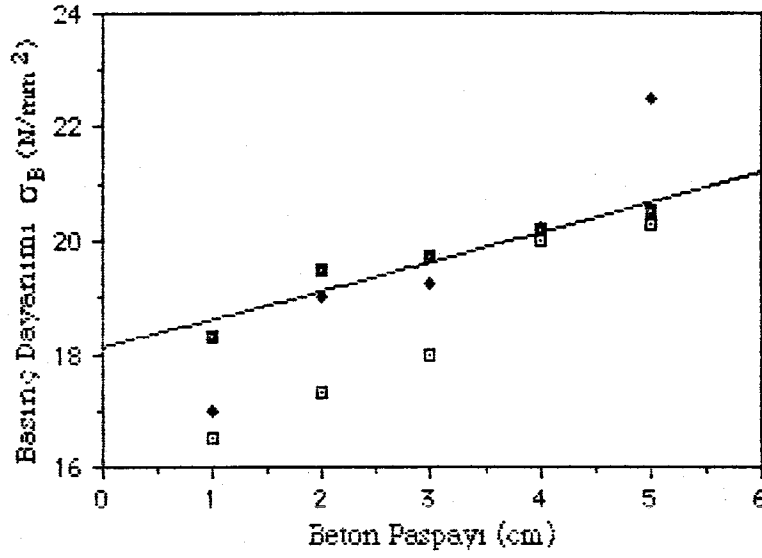
Şekil 4.67'den 4.72'ye kadar olan diyagramlarda; artan sıcaklıkla önce 700 °C 'ye kadar düzenli olarak süneklik özellikleri olan uzama ve kesit daralması, diğer çeliklerde de olduğu gibi, sürekli artma gösterirken, 700 °C 'den itibaren bu büyüklükler birdenbire sürekliliklerini yitirmektedir.

4.4. Betonlarda Mukavemet Özelliklerinin Değişimi

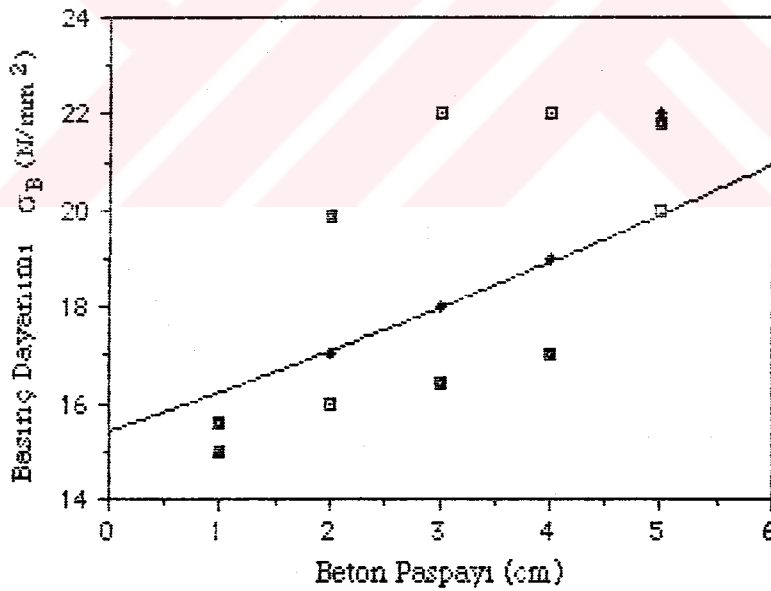
4.4.1. Betonlarda mukavemet özelliklerinin beton kalınlığı, sıcaklık ve süreye bağlı değişimi



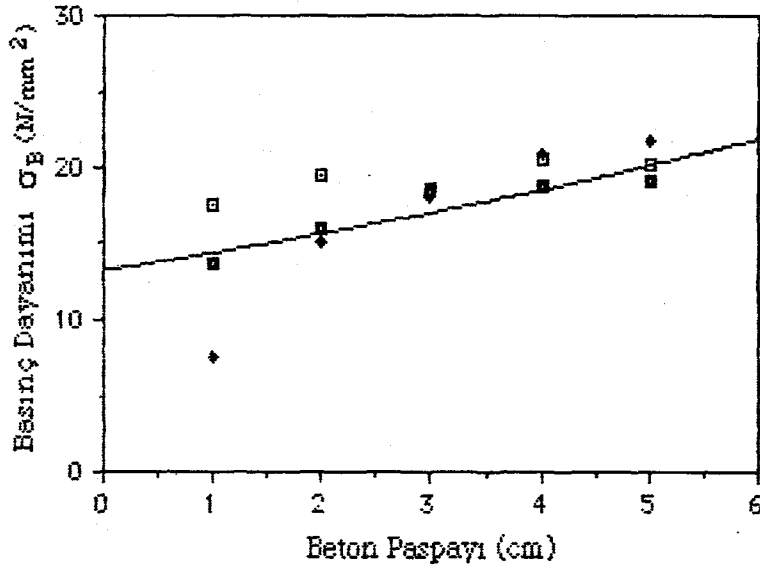
Şekil 4.73. 500°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



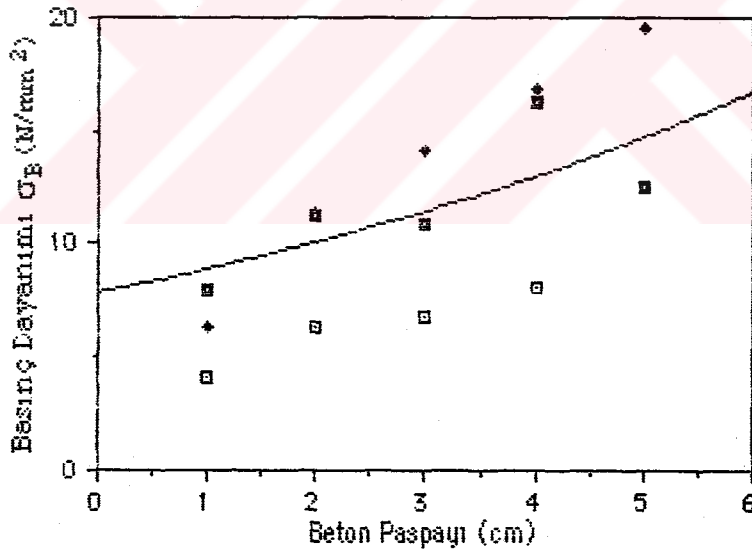
Şekil 4.74. 500°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



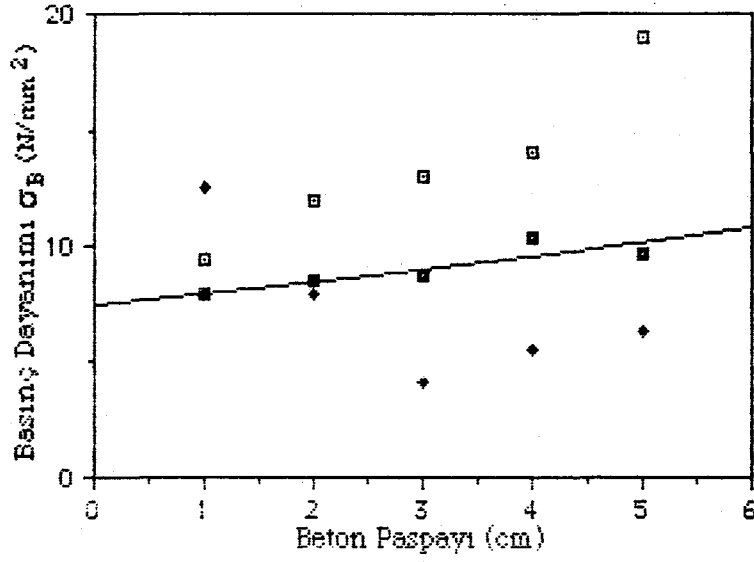
Şekil 4.75. 500°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



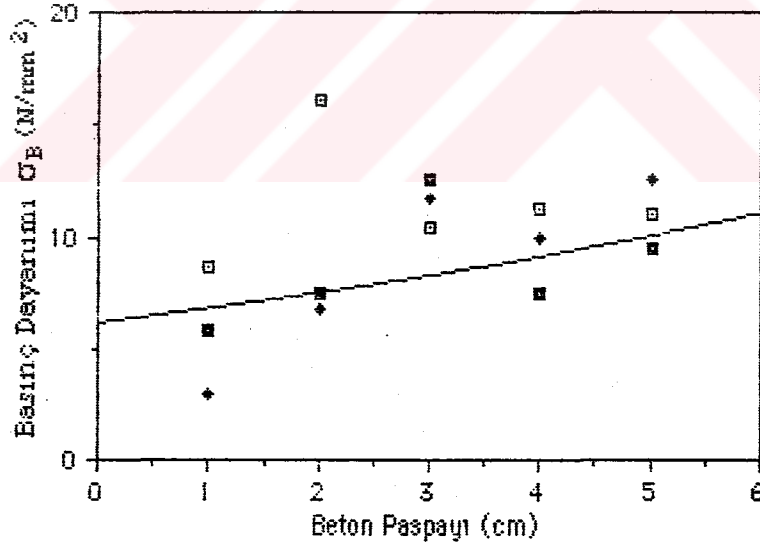
Şekil 4.76. 700°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



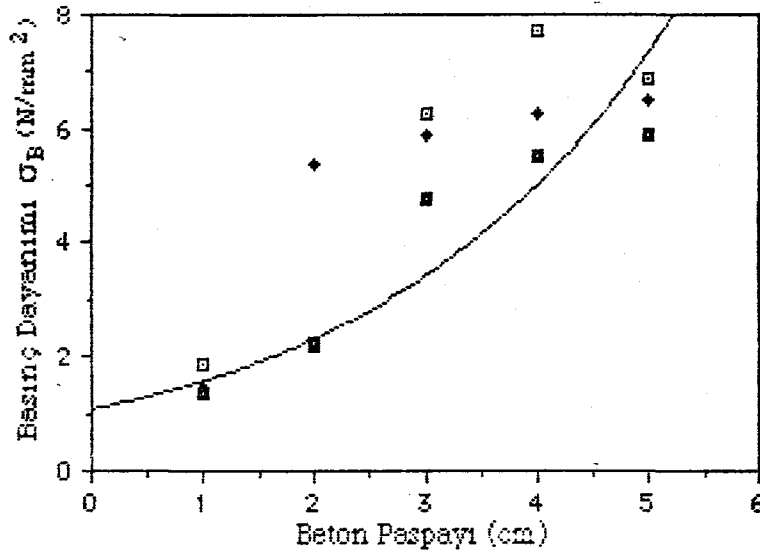
Şekil 4.77. 700°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



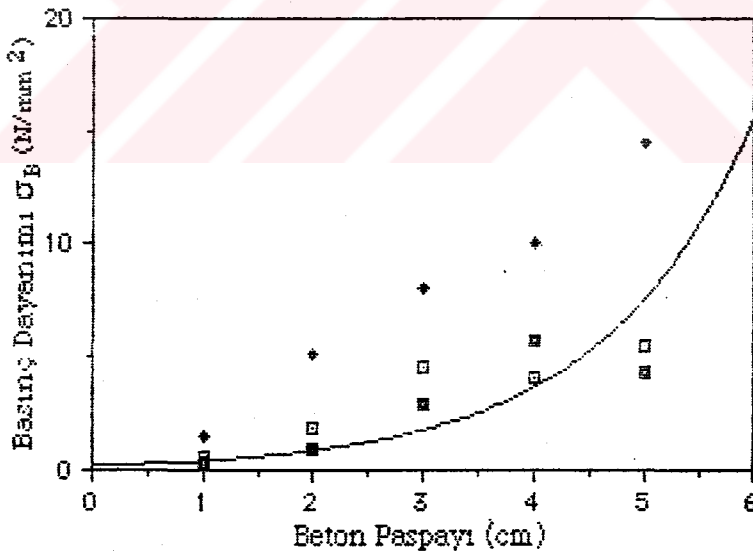
Şekil 4.78. 700°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.



Şekil 4.79. 800°C sıcaklıkta 1 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basınç dayanımının beton paspayına göre değişimi.

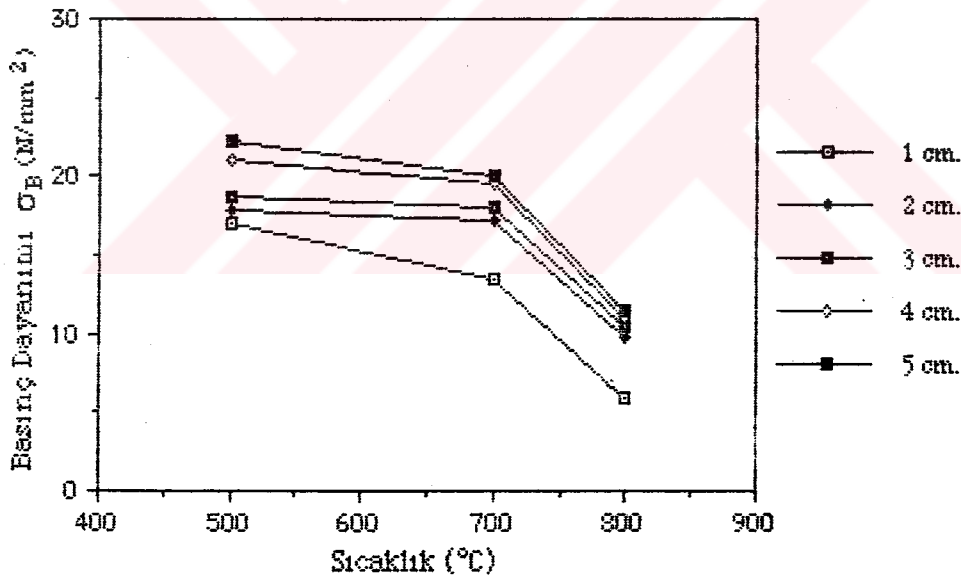


Şekil 4.80. 800°C sıcaklıkta 3 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basıncı dayanımının beton paspayına göre değişimi.

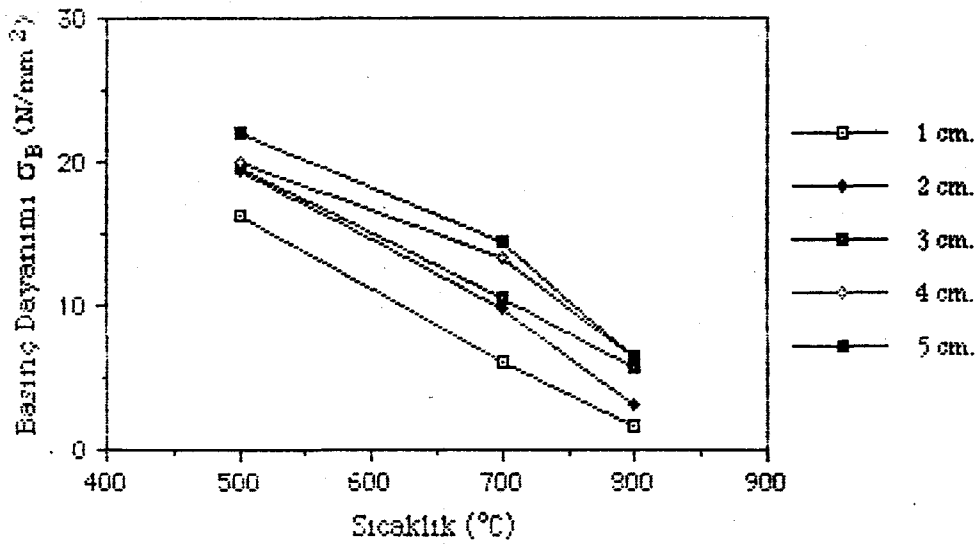


Şekil 4.81. 800°C sıcaklıkta 5 saat süreyle fırında bekletilen, içinde çelik bulunan betonların basıncı dayanımının beton paspayına göre değişimi.

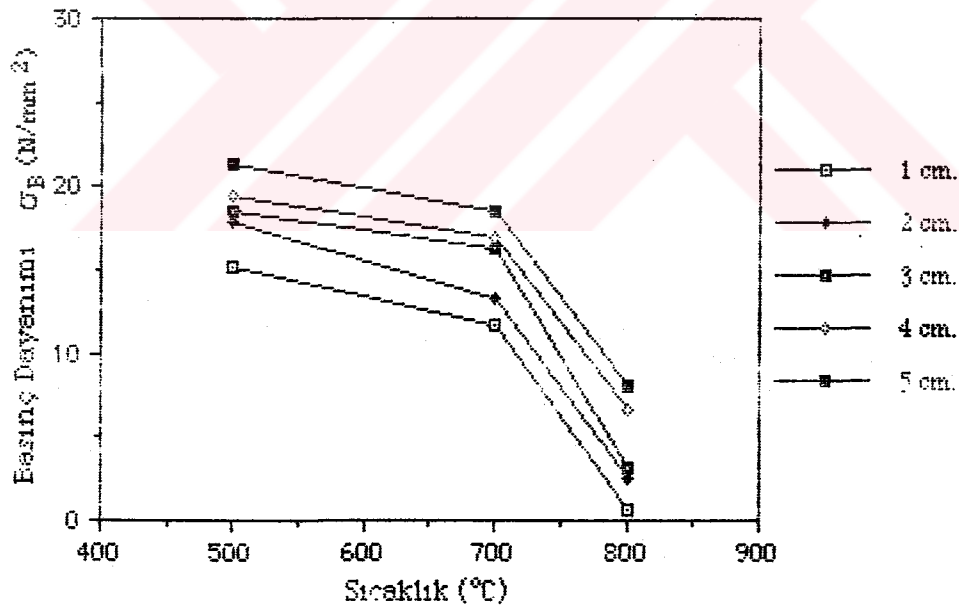
Şekil 4.73'den 4.81'e kadar olan diyagramlarda, artan beton örtü katı kalınlığına bağlı olarak, çeliği saran betonun basınç dayanımının nasıl değiştiği gösterilmiştir. Artan beton kalınlığı ile betonarme yapıda basınç dayanımındaki artış, sürekli ve düzenli bir şekilde gerçekleşmektedir. 500 °C ve 700 °C sıcaklıklarda eğri lineer, 800 °C sıcaklıkta ise yaklaşık parabolik bir salınım göstermektedir. Artan sıcaklık ve süre ile beton katının basınç dayanımı hızla düşerken, 800 °C 'nin üzerinde basınç dayanımı ihmal edilecek boyutlara kadar düşmektedir. Beton mukavemetinin yüksek sıcaklıklarda hızla düşmesinin en önemli nedeni beton bünyesindeki hidrat suyunun parçalanması, buharlaşan suyun betonda ayrılma ve kılcal çatlaklara yol açarak agregalar arasında mevcut bağı koparması ve nihayet çelik ile beton arasındaki aderansı büyük ölçüde düşürmesidir.



Şekil 4.82. Fırında 1 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.83. Fırında 3 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.



Şekil 4.84. Fırında 5 saat bekletilen ve içlerinde çelik numune bulunduran betonların basınç dayanımlarının fırın tavlama sıcaklıklarına ve çelik üzerindeki beton kalınlığına bağlı değişimi.

Şekil 4.82'den 4.84'e kadar olan eğrilerden de görüleceği gibi, betonun basınç dayanımı da, 700 °C sıcaklıklardan itibaren büyük bir düşme göstermektedir. Bu düşme; artan beton kalınlığı ile azalırken, basınç düşmesi sıcaklık, ısı etkime süresi ve beton kalınlığına, hidrat parçalanmaları ve ısıl gerginliklerden ileri gelen çatlamalara, aşırı derecede bir bağımlılık göstermektedir. İnce beton örtülerinde 800 °C 'nin üzerinde, betonun basınç direnci sıfıra yaklaşmakta ve beton elle ovulup ufalanabilecek şekilde yapısal değişime uğramaktadır.



BÖLÜM V**5. SONUÇLAR, EKONOMİKLİK VE ÖNERİLER**

Düşük kaliteli BÇ-I beton çeliğinin yüksek sıcaklık ortamlarında kullanılabilirliği sınırlı olmakta, bu çelikler bir saati aşan sürelerde orijinal çekme mukavemeti ve akma sınırı değerlerini büyük ölçüde yitirmektedirler. Sıcaklığın artması ile, daha yüksek kaliteli olan BÇ III ve BÇ-IV çeliğinde de yine mukavemet azalması ve buna bağlı olarak süneklik özelliklerinde artma görülmektedir. Mukavemette ve süneklik değerlerinde ortaya çıkan bu değişim, yüksek sıcaklıklarda düşük mukavemetli ve daha sünek olan çeliklerin kullanılmalarını imkansızlaştırmakta ve dolayısı ile inşaat maliyetlerini artırıcı bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda beton mukavemeti de hızla düşme eğilimi göstermektedir. Bu düşüşün temel nedeni, yüksek sıcaklıklardaki yapıya bağlı hidratasyon suyunun parçalanması ve buharlaşarak yapıyı terkederken beton içerisinde kılcal çatlaklara yol açmasının yanı sıra, kalın kesitli betonlarda ısıtma ve soğutma esnasında betonda ortaya çıkan termik gerilmelerin betonda gözle seçilebilecek büyüklükte çatlama ve ayrılmalara yol açmasıdır.

Betonun ısı etkisiyle hidratasyon suyunu kaybetmesi, termik şokla çatlama ve ayrılma eğilimi göstermesi; betonla çelik arasındaki aderansın da artan sıcaklıkla azalmasına yol açmaktadır. Yapılan gözlemlerden; 700-800 °C sıcaklıklarda, öncelikle beton katının ince ve ısı etkime sürelerinin fazla tutulduğu hallerde, betonla çelik aralarındaki bağın hemen hemen kaybolacak şekilde azaldığı ve bu iki yapı elemanının birbirinden ayrılma eğilimi gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Yüksek sıcaklıklarda çelikteki mukavemet düşüşü betondakine kıyasla çok daha az olmaktadır. Dolayısıyla yüksek sıcaklık etkilerinden, çelikten çok, betonu korumak için kaçınmak gerekir.

Betonun yüksek sıcaklıklardaki dayanımını artırabilmek için; ısının beton üzerindeki etkiye süresinin mümkün olduğu kadar kısa tutulması, betonun bir anlamda ısı yalıtıcısı gibi davranabilmesi için aderansının ve ısı dayanımının mümkün olduğu kadar yüksek olması, yapısının gözenekli ve yeterli mukavemette oluşmasının sağlanması gerekir.

Yüksek sıcaklık ortamında çalışacak beton ve çeliğin mutlaka söz konusu sıcaklıklarda mukavemet ve kimyasal özelliklerini koruması istendiğinden, uygun ve kaliteli malzeme seçimi beraberinde büyük bir mali yük getirecektir. Yüksek sıcaklıklarda yapılacak çalışmaların planlanması ve hazırlanmasında bu mali yükün mutlaka dikkate alınması zorunlu olacaktır.

KAYNAKLAR

- Basunbul, İ.A., Dehwah, H.A., Maslehuddin, M., (1991), "Onarılmış Beton Kolonlarda Çelik Donatının Korozyonu", **Korozyon**, Vol 3/2, 49-53, Ankara.
- Bertram, D., (1982), "Betonstahl", **Beton-Kalender 1982**, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Teil I, 1226-244, Berlin/München.
- Bertram, D., (1992), "Beton", **Beton-Kalender 1992**, Teil I, Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften, Ernst und Sohn, 81. Jahrgang, 127-157, Berlin/München.
- Eodur, H. O., (1974), "Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri", **Birsen Kitabevi Yayınları**, Arpaz Matbaacılık, 25-27, İstanbul.
- Bonzel, J., (1967), "Über die Neuere Zement- und Betontechnische Entwicklung", **Beton**, 17/6-7, 221-224, 263-267, Berlin/München.
- Bonzel, J., (1982), "Beton", **Beton-Kalender 1982**, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Teil I, 1-58, Berlin/München.
- Both, C., Stark, J.W.B., Twilt, L., (1993), "Partial Fire Protection of Composite Slabs", **Journal of Constructional Steel Research**, Vol. 27/1-3, 143-158.
- DIN 1045-DIN 1048, (1985), "Bestimmung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Alman Beton-Çelik Kurulu Şartnamesi)", **Deutsche Industrie Norm**, 1-12, Düsseldorf.

Dorn, T., (1993), "Zur Berechnung des Tragverhaltens Brandbeanspruchter Tragwerke in Verbundweise unter Berücksichtigung der Traegerstützen-Anschlüsse", **Braunschweiger Brandschutztag '93**, 5. Fachseminar, Brand-schutz - Forschung und Praxis, Heft 99, TU Braunschweig.

Dorn, T., Hosser, D., (1993), "Neue Forschungsergebnisse zum Brandverhalten von Stahl und Verbundkonstruktionen", **Braunschweiger Brandschutztag '93**, 5. Fachseminar, Brandschutz - Forschung und Praxis, Heft 103, 11-24, TU Braunschweig.

Fischer, K., (1955), "Eisen und Stahl", **Hütte des Ingenieurs Taschenbuch**, Theoretische Grundlagen, 28. Aufl. Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, 1069-1077, Berlin.

Haksever, A., Kordina, K., (1983), "Fire Engineering Design of the New 'Reichsbrücke' in Vienna", **Fire Safety of Concrete Structures**, Publ. by American Concrete Institute, 177-200, Detroit/Michigan.

Haksever, A., (1990), "Trafiğe Açık Yeraltı Tünellerinde Yangın Dizaynı", **A.Ü. Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi** (Journal of Isparta Engineering Faculty of Akdeniz), Sayı:5, 10-26, Isparta.

Haksever, A., (1991), "Fire Engineering Design of Steel Framed Car-Park Building", **4th International Colloquium on Structural Stability Mediterranean Session**, Sept. 18-20, 382-389, Istanbul.

Hilsdorf, H.K., (1992), "Beton", Beton-Kalender 1992, Teil I, **Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften**, Ernst und Sohn, 81. Jahrgang, 1-101, Berlin.

- Keskin, İ., (1986), "Dünya Metal Standardları", **On-Ar Endüstri Ürünleri San. ve Tic. Ltd. Şti. Yayınları**, Pan Matbaacılık, 1. Baskı, 628-630. İstanbul.
- Kordina, K., Haksever, A., Schneider, U., (1983), "A Contribution to the Evaluation of Fire Compartment Temperatures on the Basis of Heat Balance Calculations", **Fire Safety of Concrete Structures**, Publ. by American Concrete Institute, 237-255, Detroit/Michigan.
- La Londe, W.S., Janes, M.F., (1961), "Concrete Engineering Handbook", 1. Ed., Mc Graw Hill Book Company, 1-39, New York.
- Lie, T.T., (1994), "Fire Resistance of Circular Steel Columns Filled with Bar-Reinforced Concrete", **Journal of Structural Engineering**, Vol 120, No:5, 1489- 1509.
- Lie, T.T., Chabot, M., (1993), "Evaluation of the Fire Resistance of Compression Members Using Mathematical Models", **Fire Safety Journal**, Vol. 20/2, 135-149.
- Lie, T.T., Stringer, D.C., (1994), "Calculation of the Fire Resistance of Steel Hollow Structural Section Columns filled with Plain Concrete", **Canadian Journal Civil Eng.** 21, 382-385.
- Locher, F.W., (1969), "Zement", **Ullmanns Encyklopädie der Technischen Chemie**, Band 8, 3. Aufl., Verlag Urban und Schwarzenberg, 1-33, München, Berlin, Wien.
- Ng, D., Lazzara, C.P., (1990), "Performance of Concrete Block and Seel Panel Stopping in a Simulated Mine Fire" **Fire Technology**, Vol.4/2, 51-74.

Özden, K., (1978), "Betonarme -I-", **İ.T.Ü. Kütüphanesi**, Cilt I, 2. Baskı, Sayı: 866, 61-64, İstanbul.

Purkiss, J.A., Claridge, S.L., Durkin, P.S., (1989), "Calibration of Simple Methods of Calculating the Fire Safety of Flexural Reinforced Concrete Members", **Safety Journal**, Vol. 15/3, 245-263.

Sakumoto, T., Yamagushi, T., Okada, M., Yoshida, M., Tasaka, S., Saito, H., (1994), "Fire Resistance of Fire Resistant Steel Columns", **Journal of Structural Engineering, Amer. Soc. of Civil Engineers**, Structural Division, Vol.120/4, 1103-1121.

Schrage, I., Manns. W., (1974), "Baustoffe", **Ullmanss Encyklopädie der Technischen Chemie**, Band 8, 4. Aufl., Verlag Chemie, 312-341, Weinheim.

TS 138, (1976), "Metalik Malzemenin Çekme Muayenesi (Tensile Testing of Metallic)", **Türk Standartları Enstitüsü**, 669.620.1, 2. Baskı, 1-10s., Necatibey Caddesi, 112- Bakanlıklar, Ankara.

TS 500, (1984), "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (Building Code Requirements for Reinforced Concrete)", **Türk Standartları Enstitüsü**, UDK 69.001.3/ 693. 55, 2. Baskı, 1-13 s., Necatibey Caddesi, 112- Bakanlıklar, Ankara.

TS 706, (1980), "Beton Agregaları (Aggregates for Concrete)" **Türk Standartları Enstitüsü**, UDC 691.322: 666.972.12: 001.4, 2. Baskı, 1-10s., Necatibey Caddesi, 112- Bakanlıklar, Ankara.

TS 708, (1985), "Beton Çelik Çubukları (Steel Bars for Concrete)", **Türk Standartları Enstitüsü**, UDK 691.87: 691.42: 620.17., 2. Baskı, 1-22s., Necatibey Caddesi, 112- Bakanlıklar, Ankara.

- TS 802, (1985), "Beton Karışım Hesap Esasları (Design of Concrete Mixes)", **Türk Standardları Enstitüsü**, UDK 666.97 031, 1. Baskı, 1-16 s., Necatibey Caddesi, 112- Bakanlıklar, Ankara.
- Wesche, J., (1991), "Baustoffliche Behandlung von Brandwänden in Stahl- und Verbundbauweise", **Brauschweiger Brandschutztage '91**, 4. Fachseminar, Brand- schutz - Forschung und Praxis, 67-80, TU Braun-schweig, Kurzreferate.
- Yıldırım, M.Ş., Yıldırım, S.T., (1995), "Betonarme Çeliklerinde Korozyon ve Korozyondan Korunma Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma", **Pamuk-kale Üni. Denizli Müh. Fak.**, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 12-14 Nisan 1995, **Bildiri Kitabı**, 112-122, Denizli.