

BÖLÜM 7. KALİTE DENETİMİ

7.1 YALIN BETONDA KALİTE DENETİMİ

7.1.1 Giriş

Yalın betonda kalite denetimi; agrega, çimento, su ve katkı maddelerinin denetimi ile başlar. Bu bileşenlerden oluşan betonun kalitesi taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerin ölçülmesi ile sürdürülür. Bir beton üretim tesisinde kalite denetimi aşağıda belirtildiği gibi yapılır:

- i) Agrega üretim sahalarından ve kum ocaklarından alınan agregalar üzerinde gerekli olan uygunluk deneyleri yapılır.
- ii) Kalite kontrol sürecinden geçmiş agregalar sınıflandırılarak taşınır ve beton santralinde depolanır.
- iii) Üretim tesisindeki mevcut laboratuvarı TS-EN standartlarına göre agregalar üzerinde gerekli deneyler yapılır ve bulunan sonuçlar kaydedilir.
- iv) Kullanılan su üzerinde de düzenli aralıklarla analizler yapılır.
- v) Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri sürekli izlenip kaydedilir.
- vi) Bütün beton bileşenleri üzerinde yapılan deney sonuçlarından elde edilen değerler ilgili TS-EN standart sonuçlarıyla karşılaştırılır ve sonuç olumlu ise beton karışım hesabına geçilir. Diğer bir anlamda betonun tasarımı yapılır.
- vii) Üretilen betonlarda ilgili standartlara göre numuneler alınır, gerektiği biçimde saklanır ve kür uygulanır.
- viii) Beton üretim tesisinde betonların sürekli denetlenmesi, tesisten ve şantiyeden alınan beton örnekleri üzerinde standart basınç deneyleri yapılarak gerçekleştirilir ve her bir parti betonda kabul – red kriterleri kullanılır. Tüm sonuçlar ise istatistik yöntemlerle değerlendirilir. Böylece betonda kalite denetimi aşağıdaki süreçlerden oluşur:
 - 1) Tasarım (betonu oluşturan malzemelerin hesaplanması),
 - 2) Üretim,
 - 3) Numune alınması, bakım ve kür,
 - 4) İstatistiksel değerlendirme ve kabul kriterlerinin uygulanması.

Eğer beton uygun bir biçimde üretilerek yerine yerleştirilmiş ve gereken kür uygulanmış ise kaliteli beton elde edilebilir. Bunun anlamı şöyle özetlenebilir:

- Amaca uygun malzeme seçimi,
- Kaliteli malzemelerin kullanılması,
- Su da dahil olmak üzere malzemelerin uygun bileşimi ve karışımı,
- Minimum su kuma ile sağlanan uygun sıkıştırma,
- Betonun olgunlaşmasını sağlamak için uygun kür,
- İlk sertleşme sürecinde beton içindeki yüksek sıcaklık ve sıcaklık farklarından kaçınmak.

7.1.2 İstatistiksel Kalite Denetimi

Beton özelliklerinin bir çok etkene bağlı olarak değişkenlik göstermesi beton kalitesinin belirlenmesinde belirli bir güvenlikle olasılığa dayalı istatistiksel yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Beton sınıfını belirlemek için sadece ortalama dayanımı hesaplamak yeterli değildir [1-3]. Dünya standartları ve ilgili Türk standartlarında (TS 500 ve TS EN 206-1) karakteristik dayanım kavramı vardır.

Günümüzde beton kalite denetimi istatistiksel yöntemler kullanılarak yapılır ve elde edilen sonuçlar bir güvenlik derecesi ile değerlendirilir. En yaygın kullanılan istatistiksel parametreler ise aritmetik ortalama ve standart sapmadır. f_{cm} ile gösterilen aritmetik ortalama basınç dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (7.1)$$

Burada f_i her bir deney sonucunu ve n deney sayısını gösterir. Standart sapma (σ) ise karesel sapma toplamı ortalamasının karekökü olup aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f_{cm})^2}{n}} \quad (7.2)$$

Numune sayısı (n) < 25 ise n yerine $n-1$ alınır. Proje hesaplarında esas alınan dayanım sınıfları, betonun 28 günlük karakteristik silindirik basınç dayanımı (f_{ck}) ile tanımlanır. Karakteristik dayanım tek bir beton silindirik veya küp numunenin dayanımı olmayıp bir grup numuneden hesaplanan değerdir.

TS EN 206-1'e göre taşıyıcı beton sınıfları şöyledir: C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45, C 40/50, C 45/55, C 50/60, C 60/75, C 70/85, C 80/95, C 90/105 ve C 100/115. Burada C beton sınıfı olup izleyen sayılar N/mm^2 cinsinden sırasıyla 28 günlük silindirik ve küp basınç dayanımı değerleridir. Uygulamada ve geçmişte yaygın kullanımı olan BS 18 (C 18) TS EN 206-1'de mevcut değildir, bu sınıfın TS 500 de karşılığı yoktur. Ayrıca, TS EN 206-1'de mevcut olan, TS500 de olmayan beton sınıfları C 8/10 ve C 12/15'dir. Yine söz konusu bu iki standartta (TS 206-1 ve TS 500) mevcut olan fakat yeni deprem yönetmeliğine göre çerçevelerde kullanılması öngörülmemiş bir diğer beton sınıfı da C 16/20'dir. Öte yandan İngiliz standardı BS 8204 zemin betonlarında hafif trafik yükü için C 30' u ağır trafik yükü için C 35'i öngörmektedir [4]. TS 500 ve TS EN 206-1'e göre beton sınıflarının eşdeğer küp basınç dayanımı karşılıkları aşağıdaki tablodaki gibi gösterilir.

Tablo 7.1 TS EN 206-1 ve TS 500'e göre betonların basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması

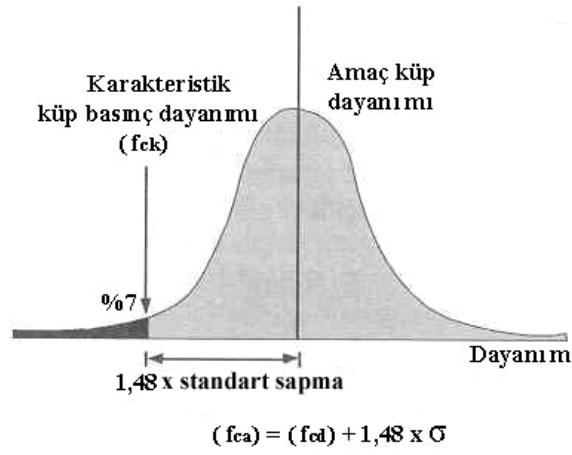
Beton sınıfı	TS EN 206-1'e göre karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (min) (28 günlük)		TS 500'e göre karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (min) (28 günlük)	
	Silindir (N/mm ²)	Küp (N/mm ²)	Silindir (N/mm ²)	Küp (N/mm ²)
C 8/10	8	10	-	-
C 12/15	12	15	-	-
C 16/20	16	20	16	20
C 20/25	20	25	20	25
C 25/30	25	30	25	30
C 30/37	30	37	30	37
C 35/45	35	45	35	45
C 40/50	40	50	40	50
C 45/55	45	55	45	55
C 50/60	50	60	50	60
C 55/60	55	67	-	-
C 60/75	60	75	-	-
C 70/85	70	85	-	-
C 80/95	80	95	-	-
C 90/105	90	105	-	-
C 100/115	100	115	-	-

Eşdeğer küp numunenin bir kenarı 150mm dir. TS EN 206'daki karakteristik dayanım (f_{ck}), proje dayanımı olan f_{cd} 'den büyük veya en az ona eşit olmalıdır ($f_{ck} \geq f_{cd}$).

Şekil 7.1'de gösterildiği gibi, beton küp basınç deney sonuçlarının dağılımı Normal Gauss Dağılım eğrisine uygun olan bir beton biriminin ortalama basınç dayanımı f_{cm} ise beton birimi için karakteristik dayanım (f_{ck}) aşağıdaki gibi hesaplanır:

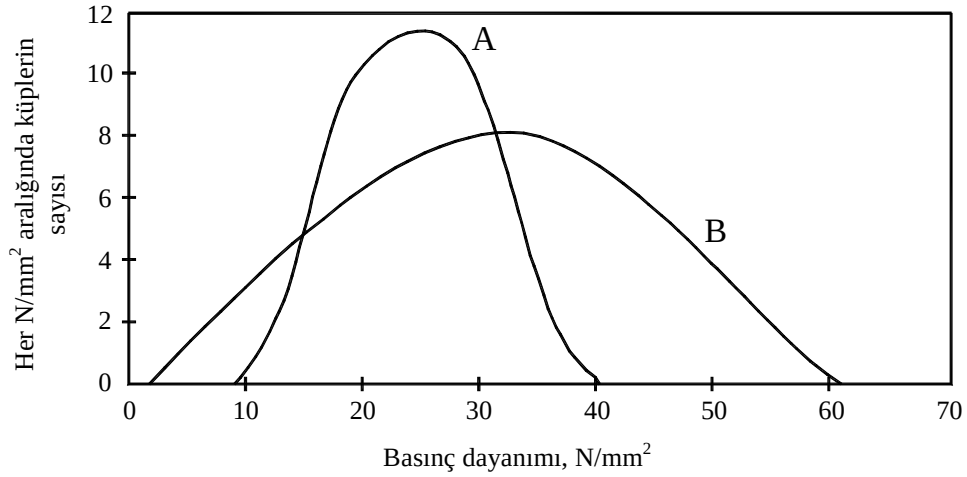
$$f_{ck} = f_{cm} - 1,48\sigma \geq f_{cd} \quad (7.3)$$

Karakteristik dayanımı ifade eden denklemdeki 1,48 sayısı TS EN 206-1'de öngörülen %93 güvenliğe karşı gelen bir parametredir. σ ise beton üretim tesisinin belirlenen standart sapması olup, üretim araçlarına, kullanılan malzemelere ve firmanın uyguladığı üretim tekniğine, kalite denetimine ve personelin nitelik ve deneyimine bağlıdır.



Şekil 7.1 Normal dağılım eğrisi

Şekil 7.2’de 50 adet beton küpten oluşan iki deney serisinin sonuçlarına ait histogramlar çizilmiştir. Her iki eğri altında kalan alanların aynı olmasına karşın A eğrisi iyi bir kalite kontrollü üretime, B eğrisi ise kötü bir kalite denetimini göstermektedir. A eğrisinde dayanım daha yüksek ve dağılımı daha küçüktür, B eğrisinde ise dayanım daha düşük ve dağılım daha fazladır.



Şekil 7.2 Kalite kontrol histogramları A eğrisi iyi denetim, B eğrisi kötü denetim

7.1.3 Taze Betondan Numune Alma ve Sertleşmiş Betonda Kalite Denetimi Hakkında TSEN 206-1, TS 500 ve ACI 318' in Karşılaştırması

Taze betondan numune alınması ve kalite denetimi konusunda TS EN 206-1, TS 500/2000 ve ACI 318' de farklılıklar vardır ve her birinde değişik kriterler öngörülmüştür.

7.1.3.a TS EN 206-1'e göre numune alınması ve nitelik denetimi

EC 2 (EN 1992)'nin de atıf yaptığı bu standarda göre numune alınmasında ve nitelik denetiminde aşağıdaki esaslar izlenir:

- Üretim kontrol belgesi olan tesisler için, i) 35 adet basınç deney sonucu elde edilmeye dek ilk 50 m³ lük üretimden 3 adet ve izleyen her 200 m³ betondan en az 1 adet veya her üretim haftası için en az 2 adet numune alınması öngörülmektedir. ii) 35 adet deney sonucu elde edildikten sonra her 400 m³ veya her üretim haftası için en az 1 adet numune alınması zorunlu kılınmıştır.
- Üretim kontrol belgesi olmayan tesisler için, her 150 m³ lük üretimde veya her üretim gününde 1 adet numune alınması öngörülmektedir. İlk 35 deney sonucundan standard sapma hesaplandıktan sonra nitelik denetimi için aşağıdaki iki kriterin sağlanması zorunlu kılınmıştır:
 - i) Ortalama: $(f_{cm}) \geq f_{ck} + 1,48\sigma$ (MPa)
 - ii) Tek değer: $(f_{cmin}) \geq f_{ck} - 4$ (MPa)

Burada, f_{cm} =35 deney sonucunun ortalaması, f_{ck} = karakteristik dayanım, ve σ =standard sapmadır.

Son 15 numuneye dayanarak hesaplanan standard sapma S_{15} ise aşağıdaki koşulu sağlamalıdır:

$$0,63 \sigma < S_{15} < 1,37 \sigma$$

Burada, σ başlangıçtaki standard sapmadır. S_{15} 'in bu aralığın dışına çıkması halinde en son elde edilen 35 deney sonucu kullanılarak yeni σ değeri hesaplanır ve daha sonraki değerlendirmelerde kullanılır.

- Tesisin üretim kontrol belgesi olmaması halinde yukarıda belirtilen beton miktarları için, her gruptan 3' er numune olmak üzere 3 grupluk bir parti oluşturulur, partinin uygunluğu aşağıdaki kriterlerin sağlanmasıyla gerçekleşir:
 - a) ortalama dayanım $\geq f_{ck} + 4,0 \text{ MPa}$, ve b) Tek dayanım değeri $\geq f_{ck} - 4,0 \text{ MPa}$

7.1.3.b TS 500'e göre numune alma ve kalite denetimi

- TS 500 1984' de her 50 m³ betondan, veya binanın her katından bir deney için 3 numune alınması, BS 25 (C 25) den daha yüksek sınıflar için bu sayının iki katına çıkarılması öngörülmüştü. TS 500 ün yeni baskısında (TS 500/2000) üretimin birimine göre numune alınması esası getirilmiştir. Burada üretim biriminin tanımını yapmak gerekir. Üretim birimi, aynı basınç dayanım sınıfı ve aynı bileşime sahip betondan aynı günde dökülen beton miktarıdır.

Bu standarda göre bir üretim birimi 100 m³'ü veya 450 m² alanı aşamaz. Böylece aynı gün dökülmüş aynı sınıftaki bir beton için 100 m³ veya 450 m² alandan 3 grup numune yani 9 numune alıp standard koşullarda tutmak gerekmektedir. Deney numunelerinin alınması,

bakımı ve hazırlanmasında TS EN 12 350-1 (TS 2940, ISO 2736-1), TS EN 12 390-2 (TS 3068, ISO 2736-2) ve TS 3351'e, deneylerin yapılmasında ise pr EN 12390-3/1999 (TS 3114, ISO 4012)'e uyulmaktadır.

Alınan üçer küp veya silindir numuneler, alınış sırasına göre $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ biçiminde adlandırılır ve her grubun ortalama basınç dayanımı bulunur. Ardışık üçer grupluk partiler $P_1(G_1, G_2, G_3), P_2(G_2, G_3, G_4), P_3(G_3, G_4, G_5), \dots$ biçiminde oluşturulur. TS 500/2000' e göre uygunluk kriterleri aşağıdaki gibidir:

a) Her parti ortalaması, $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,0 MPa$

b) Her partide en küçük grup ortalaması, $f_{cmin} \geq f_{ck} - 3,0 MPa$

7.1.3.c ACI 318'e göre numune alma ve kalite denetimi

ACI 318'e göre her döküm gününde her 115 m³ beton veya her 450 m² beton döşeme veya perdeden numune alınması öngörülmekte, iki numune alınmakta ve bu iki numunenin ortalaması bulunmaktadır. ACI 318'de birbirini izleyen üç grup bir parti olarak değerlendirilmektedir. Bu standartta aşağıdaki iki kriter gerçekleşmelidir.

a) Ortalama dayanım (f_{cm}) $\geq f_{ck} + 1 MPa$

b) Her partide en küçük grup ortalaması $\geq f_{ck} - 3,5 MPa$

7.1.4 Sonuçlar ve Öneriler

Standartlara ilişkin olarak varılan sonuçlar

TS EN 206-1, TS 500 ve ACI 318'in numune alma ve kalite denetimi bakımından karşılaştırılmalarıyla aşağıdaki sonuçlara varılabilir

- 1) Yukarıda tanımlanan her üretim biriminden 28. günde basınç deneyi yapılmak üzere bir grup için en az 3 numune (3 standard küp veya 3 standard silindir) alınmalıdır. Daha erken yaşlarda (3 veya 7 gün gibi) basınç dayanımı elde etmek için istenirse numune sayısı artırılabilir. Ancak, bir grup için 28. günde denenecek numune sayısı 3'ün altına düşürülmemelidir.
- 2) İşin küçük olması ve dökümün bir veya birden fazla döküm gününde olması durumunda , üretim birimi küçültülerek alınan numune grubu üçe tamamlanır.
- 3) TS EN 206-1' de numunelerin rastgele alınması esası getirilirken, TS 500 her bir numuneyi ayrı bir transmikserden veya ayrı bir betoniyerden alınmasına, ACI 318 ise iki numuneyi de aynı transmikser veya betoniyerden alınmasını öngörmektedir. Böylece, sonuncu standardta numune alınması, bakımı ve deneye tabi tutulması sırasındaki hataların giderilmesi düşünülmüş olabilir. TS 500' e göre aynı transmikserden birden fazla numune alınırsa ortalamaları alınır ve tek numune varsayılır.
- 4) Numune alınmasındaki sıklık ile numune sayısı konusunda alıcı firma ve satıcı hazır beton firması arasında mutabakat sağlanmalıdır.
- 5) Numunelerin hazırlanması ve bakımı sırasında aşağıdaki hususlara da dikkat etmek gerekir:

- i) Dökümü izleyen ilk 24 saat kalıplar içinde tutulan numuneler 16°C-27°C sıcaklıktaki kapalı ortamda korunmalıdır.
- ii) Yaklaşık 24 saat sonra kalıbından alınan numuneler 23°C ± 2°C sıcaklıkta, kirece doygun su içinde tutulmalıdır.
- iii) Numuneler şantiyeden laboratuvara taşınırken sarsıntıdan ve aşırı sıcaklık değişimlerinden korunmalıdır.
- iv) Alınan numunelerin yapıdaki hangi eleman veya elemanları temsil ettiği kaydedilmelidir.

Öneriler

Numune alma konusunu ikiye ayırmak gerekir:

1. Şantiyede beton verilen yapıyı denetlemek amacı ile numune almak,
2. Tesiste üretimi denetlemek üzere numune almak .

- Birinci şekilde numune alma şantiye ekibinin görevi olup ne sıklıkta ve ne şekilde alınacağı kendi işvereni ile yaptığı şartnamede belirtilmelidir. Bu konuda Hazır Beton Firması müteahhit firmaya ancak yardımcı olabilir. Böyle numune alma Hazır Beton Firmasının görevi değildir. Bu tür numune alma esasları TS 500’ de belirtilmiştir.
- İkinci şekilde numune alma Hazır Beton Tesisinde tesis elemanlarınca üretimi kontrol etmek amacı ile alınır. TS EN 206-1’e göre bu şekilde numune alınırken, numune sayısı ve sıklığının düşük tutulmuş olmakla birlikte Türkiye koşullarını da göz önüne alarak, belirli bir basınç dayanım sınıfı ve bileşime sahip beton bir “ üretim birimi” kabul edilerek her gün en azından 1 kez üretim biriminden en az 5 örnek (2’si 7 gün, 3’ü 28 gün için) alınması yerinde olacaktır.

7.1.5 Kontrol Kartları ile Denetim

Kontrol kartlarıyla basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikler denetlenebileceği gibi agrega özellikleri ile çimentonun özellikleri de denetlenebilir. Bu kartların yatay eksen zaman, üretim birimi veya denetlenen özeliğin ölçü birimi olabilir. Düşey eksen ise üretim biriminin aritmetik ortalamasını, uyarı ve eylem sınırını gösterir. Aşağıda kontrol kartına bir örnek verilmektedir.

Proje dayanımı 30 N/mm² olsun, %95 güvenlik öngörölsün. Standart sapma 6 N/mm² ise amaç dayanımı (f_{ca}) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f_{ca} = f_{cd} + t \cdot \sigma = 30 + 1,64 \times 6 = 39,84 \text{ N/mm}^2 \cong 40 \text{ N/mm}^2$$

Eğer deneylerde her bir parti için 4 numunenin ortalaması alınmış ise bu ortalamaların standart sapması

$$\frac{\text{Bireysel sonuçların standart sapması}}{\sqrt{\text{Partideki numune sayısı}}} = \frac{6}{\sqrt{4}} = 3 \text{ N / mm}^2$$

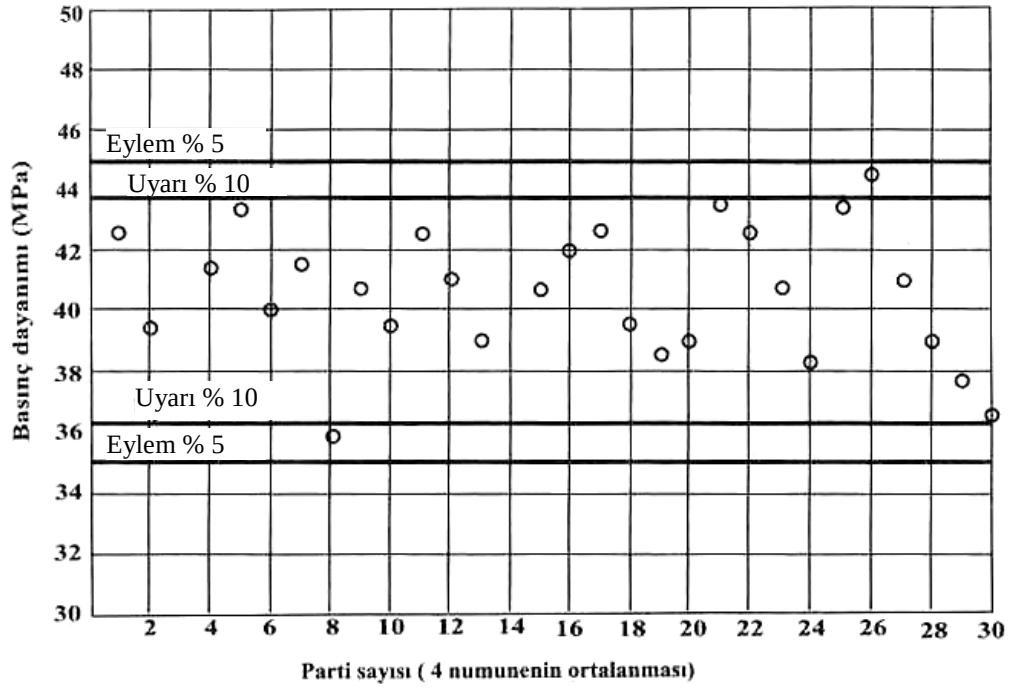
Böylece 4'er numunenin ortalamasının %5'den azı $40 - 1,64 \times 3 = 35 \text{ N/mm}^2$ 'in altında, yine 4'er numunenin ortalamasının %5'den fazlası da $40 + 1,64 \times 3 = 45 \text{ N/mm}^2$ 'in üstünde çıkmamalıdır.

Görüldüğü gibi 35 N/mm^2 ve 45 N/mm^2 eylem (iş durdurma) sınırlarıdır. Öte yandan partilerden %90 olasılıklı güvenliğe karşı gelen üst ve alt sınırlar ise

$$40 \pm 1,28 \times 3 = 43,8 \text{ N/mm}^2 \text{ ve } 36,2 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

Şekilde görüldüğü gibi üretimin gidişi iyidir. Sonuçlar eylem (iş durdurma) sınırlarını aşmamaktadır ve ortalama etrafında belirtilen sınırlar içerisinde yaklaşık olarak dengeli dağılmaktadır. Eğer eylem sınırlarının dışına çıkılırsa üretimi durdurmak ve nedenini kesin biçimde belirlemek gerekir. Öte yandan, %93 güvenliğe karşı gelen üst ve alt sınırlar da aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$40 \pm 1,48 \times 3 = 44,4 \text{ N/mm}^2 \text{ ve } 35,6 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$



Şekil 7.3 Beton üretiminin gidişini gösteren kontrol kartı