Kalite Kontrol Grafikleri ve Pareto Analizinin Hazır Beton Tesisinde Uygulanması

Volkan Arslan

MTA Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya

(E-mail: volkanarslan76@hotmail.com; Tel: 0 555 303 45 60)

Özet

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), üretim faaliyetlerinin önceden belirlenen kalite spesifikasyonlarına uygun şekilde yapılmasını sağlamak ve standart dışı üretimi büyük ölçüde önleyerek kusurlu ürün üretimini minimize etmek amacıyla bir araya getirilmiş olan bir yöntemdir. Bu çalışmada, Konya’da faaliyet gösteren bir hazır beton fabrikasından alınan beton basınç dayanım değerlerinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı İPK’nın temel araçlarından birisi olan kontrol grafikleri kullanılarak belirlenmiştir. Söz konusu kalite kontrol grafiklerinden elde edilen bilgiler ışığında üretim sürecinin daha önceden belirlenen spesifikasyonları karşılama yeteneğini belirlemek üzere proses yeterlilik analizi yapılmıştır. Son olarak, pareto analizi kullanılarak hata dağılımları tespit edilmiştir.

Giriş

Hazır beton; ince ve iri agrega çimento ile suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun karıştırılmasından oluşan başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan ve tüketiciye “taze beton” olarak teslim edilen önemli bir yapı malzemesidir. Betonun mutlak hacmi %70 oranında agrega (kum, çakıl ve mıcır), %10 oranında çimento ve %20 oranında sudan oluşmaktadır. Gerektiğinde çimento ağırlığının %5’inden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilmektedir. Hazır betonun kalitesini belirleyen beş temel aşama söz konusudur. Bunlar; tasarım, üretim, taşıma, yerleştirme ve bakımdır. Bunlardan ilk üç aşama hazır beton üreticisi, son iki aşama ise tüketici tarafından yerine getirilmektedir. Hazır betonun yüksek katlı binalardan, barajlara, prefabrikasyondan metro inşaatlarına kadar çok geniş bir kullanım alanı vardır. Hazır beton konvansiyonel betona göre işçilikten ve zamandan tasarruf sağlayıp çağdaş bir çalışma imkanı sunmaktadır.

Betonunun günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasında en önemli etkenler ucuz olması, bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler ve pompalar ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması, şekil verilebilme kolaylığı, çelik donatı ile betonarme çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi, yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması, fiziksel ve kimyasal dış etkenlere karşı dayanıklılığı (uzun ömür ve bakım kolaylığı gibi), hafif agrega ile hafifletilmesi ve pigmentlerle renklendirilmesidir.

Hazır betonda aranan temel özellikler; işlenebilme özelliği, uygun kıvam, taze betonun sıcaklığı, agreganın tane büyüklüğü, homojenlik, kıvam kaybı, hava miktarı, birim ağırlık, basınç dayanımı, dış etkenlere karşı dayanıklılık, donma ve çözülmeye dayanıklılık, hafiflik, ısı ve ses yalıtımı ve ekonomikliktir [1].

İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) istatistik tekniklerinin veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözümler getirmek üzere kalite problemlerine uygulanması olarak tanımlanmaktadır. İstatistiksel proses kontrolü üretimin önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu ve kusurlu ürün üretiminin en aza indirgenmesini sağlayıcı bir nitelik taşımaktadır. İstatistiksel proses kontrolü uygulamalarında proses sürekli gözlemlenerek problemler tespit edilir, problemin sebepleri belirlenir, çözüm geliştirilir, geliştirilen çözüm uygulanır ve proses tekrar izlenir. Bu döngü sonsuz olup bu sayede prosesin sürekli iyileştirilmesi sağlanır. İstatistiksel proses kontrolü bir kalite muayenesi değildir. Kalite muayenesi ile istatistiksel proses kontrolü arasındaki önemli fark, istatistiksel proses kontrolünün üretim sürecini, kalite muayenesinin ise ürünü kontrol etmesidir [2-3]. İstatistiksel yöntemlerin kalite kontrolde kullanılmasının iki nedeni vardır. İlki; kontrol edilmesi gereken kitle veya yığının tamamına muayene yapmanın genellikle olanaksız ya da ekonomik olmaması, ikincisi ise; üretilen bir ürünün ölçülebilen kalite özelliklerinin sürekli olarak bir değişime uğraması ve bu değişimin, bazı sınırlar arasında kalmak koşuluyla rastgele bir yapı göstermesidir. İPK Yöntemleri içinde en fazla kullanılan ve bilinen araç kontrol grafikleri olup, 1924 yılında Shewhart tarafından üretim prosesindeki değişimleri araştırmak ve anlamakta yardımcı olmak amacıyla hazırlanmıştır. Özellikle imalat sanayinde yoğun bir şekilde kullanılan kontrol grafiklerinden son yıllarda madencilik alanında da faydalanılmaya başlanmıştır [4]. Normal dağılmış bir eğride verilerin %99,73’ü μ±3σ, %95,45’i μ±2σ ve %68,26’sı μ±1σ aralığında yer alır. Şekil 1’de normal eğri üzerinde bu ilişki anlatılmaktadır.

İstatistiksel proses kontrolü çalışmaları altı aşamaya ayrılmaktadır. Bunlar; Prosesin tanımlanması, kontrol edilecek olan karakteristiklerin belirlenmesi, ölçü aletlerinin test edilmesi ve kalibrasyonu, proses yeterlilik analizi, proses performans analizi ve proses kontrol grafikleridir.

Bu çalışmada, kalite kontrol grafikleri kullanılarak Konya’daki bir beton firmasına ait hazır betonun ürün kaliteleri incelenmiş, proses yeterlilik analizi yapılmış ve pareto analizinin beton sanayinde nasıl uygulanabileceği araştırılmıştır. Bu kapsamda, fabrikada test edilen dönem boyunca betonun basınç dayanım değerlerinin X-R grafikleri yardımıyla incelenmesi ve ortaya çıkan hataların sebeplerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca proses yeterlilik analiziyle de işletmenin çalışma veriminin yeterli olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Son olarak yapılan pareto analizi yardımıyla da üretimdeki hataların nedenlerinin belirlenmesi ve bu hataların hepsinin ortadan kaldırılması çok mümkün olmadığı için hataların önem sırası belirlenerek hangi hataların öncelikli olarak giderilmesi gerektiğinin tespiti amaçlanmıştır.



Şekil 1: İstatistiksel proses kontrolünde normal dağılım eğrisi [4]

**2. Materyal ve Yöntem**

**2.1. Kalite kontrol grafikleri**

Kalite kontrolü, bir ürünün tüketicisini tatmin etmesi ve onun beklentilerini en iyi biçimde karşılaması amacıyla üretimin her aşamasında sürdürülen kontrol işlemidir. Kalite kontrol sürecinin temelinde üretimin planlanması aşamasında belirlenen kalite standartlarına üretim işlemleri boyunca, öncesinde ve sonrasında ne ölçüde uyulduğunun incelenmesi ve gözlenmesi yatar şeklinde tanımlamıştır. Ayrıca kalite kontrol, ürün kalitesini yüksek tutmayı amaçlayan bütün ölçme ve kontrol işlerinin, sürekli bir “bilgi alma-değerlendirme-karar verme-müdahale” programına göre, sistemli bir şekilde yürütülmesini sağlayan bir faaliyettir [5-7].

Bir kontrol grafiği esas olarak üç çizgiden oluşur. Bunlar; alt kontrol sınır limiti (AKL), üst kontrol sınır limiti (ÜKL) ve orta değer (OÇ) çizgisidir. Alt ve üst kontrol limitleri alt grupların genel ortalamasını gösteren orta çizgiden itibaren ±3a uzaklığı veya standart normal dağılım eğrisinin %99.73’lük alanını ifade eder. Bir kontrol grafiğinde tüm noktaların limitler arasında bulunması her zaman prosesin kontrol altında olduğu her şeyin yolunda gittiği anlamına gelmez. Bunun aksi durumda yani noktaların sık limitler dışına taşması halinde de prosesin kontrol dışında olmadığı her zaman söylenemez. Prosesin karakteristiğinin değişmesini veya yanlış hesaplama ihtimallerini göz önünde bulundurmak gerekir [8-13].

**2.2. Değişkenler için kontrol kartları**

Proses çıktısı sayısal bir ifade ile ölçülebiliyorsa değişkenler için kontrol kartlarından söz edilebilir. Değişkenler için hazırlanan kontrol kartlarının içinde en fazla kullanılanı X-R kontrol kartlarıdır. Bu kartlar, proses karakteristikleri sayısal olarak ifade edilebilen değişkenler için kullanılır. Madencilik faaliyetlerinde genellikle kalite verileri ölçülebilir özelliktedir ve bu yüzden X-R kontrol kartlarının kullanımı daha uygundur [9]. Kontrol kartları çizilirken verilerin işaretlenmesi rasyonel örneklemeye göre yapılır. Bu örneklemede belirli bir sayısı (m) ve büyüklüğü (n) olan alt gruplar oluşturulur. Alt grup örnekleri prosesten belirli bir zaman dilimi içindeki belirli bir anda veya zaman diliminin farklı anlarında örneklenebilir [14].

Bir kontrol grafiğinin oluşturulması için değişkenin cinsi ne olursa olsun, belirlenmesi gereken 3 temel eleman ise orta çizgi (OÇ), alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitidir (ÜKL). Kontrol grafikleri çizilirken her bir alt grubun ortalamasının (**) ve değişim aralığının (R) bulunmasında Eşitlik 1’deki formüller kullanılır.

**; ** (1)

Alt grup ortalaması ve değişim aralığı belirlendikten sonra, alt grup ortalamalarının genel ortalaması () ile alt grup değişim aralıklarının ortalaması Eşitlik 2’de verilen formüllere göre hesaplanır.

 ;  (2)

Formüllerde; m alt grup sayısını, n alt grup büyüklüğünü, X ise her bir örnekleme değerini ifade etmektedir. Eşitlik 1 ve 2’deki formüller yardımıyla  ve hesaplandıktan sonra X-R kontrol kartlarının çizimi için gerekli olan orta çizgi (OÇ), alt kontrol limiti (AKL) ve üst kontrol limitleri (ÜKL) Eşitlik 3 ve 4’de verilen formüllere göre hesaplanır [2, 8, 9, 15-20].

; **;  (3)

**; ;  (4)

**2.3. Proses yeterlilik analizi**

İstatistiksel kalite kontrol, ürün çevriminin imalata öncelik veren aktivitelerinin geliştirilmesi, değişkenliğin ölçülmesi, bu değişkenliğin ürün ihtiyaçları veya spesifikasyonlara uygunluğunun analizi de dahil olmak üzere değişkenliğin azaltılmasında önemli rol oynamaktadırlar. Bu aşamada proses yeterlilik analizi, prosese ait ölçülebilir bir kalite karakteristiğinin belirlenen hedef değer, Alt Spesifikasyon Limiti (ASL) ve Üst Spesifikasyon Limiti (ÜSL)’ne göre nasıl bir merkezlenme ve saçılım gösterdiğini inceler. Proses yeterlilik analizinin amacı; proses ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirerek prosesin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; proses ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde, mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır. Bu aşamada dikkate alınan değerler Cp ve Cpk indisleridir. Cp indisi, şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Cpk indisi ise, proses ortalamasının hedef değere göre konumunu ve spesifikasyon limitleri arasındaki konumunu göstermektedir ve bu indisler Eşitlik 5’deki gibi hesaplanır. Prosesin standart sapmasının bilinmediği durumlarda standart sapma Eşitlik 6’ya göre hesaplanır.

$C\_{p}=\frac{ÜSL-ASL}{6σ}$ $C\_{pk}=min⁡(\frac{ÜSL-̿}{3σ};\frac{̿-ASL}{3σ})$ (5)

$σ=\frac{\overline{R}}{d\_{2}}$ veya $σ=\frac{\overline{S}}{c\_{4}}$ (6)

 Eşitlik 5’de  bu çalışmada günlük alınan 3 örneğin ortalamalarının ay sonundaki ortalaması olarak ifade edilebilir. Proses yeterlilik analizinde geçerli olan varsayımlardan biri prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olmasıdır. Bu aşamada yaygın olarak kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Kalite karakteristiğinin ölçülebilir değişken olarak tanımlanabildiği durumlarda bu karakteristiğin ortalaması ve değişkenliği sürekli olarak kontrol edilmelidir [18, 21-24]. Yeterlilik indisleri hesaplandıktan sonra yorum yapılmalıdır. Cp ve Cpk değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Tablo 1’de verilen değerler kullanılır [7].

Tablo 1: Cp ve Cpk indisleri karar noktaları

|  |  |
| --- | --- |
| Cp>1,33 | Proses spesifikasyonu karşılar. |
| 1<Cp<1,33 | Proses spesifikasyonu karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir. |
| Cp<1 | Proses yetersizdir. İyileştirmeler yapılmalıdır. |
| Cpk>1 | Verilerin tamamı spesifikasyon sınırı içindedir. |
| Cpk =1 | Verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşır. |
| 0<Cpk<1 | Proses ortalaması spesifikasyon sınırı içindedir. |
| Cpk =0 | Proses ortalaması spesifikasyon sınırına eşittir. |
| Cpk<0 | Proses ortalaması spesifikasyon sınırı dışındadır. |

Yukarıdaki formüllerde; A2, D3, D4 ve d2 doğal toleranslar olarak tanımlanan ±3a değerlerinin normal dağılım eğrisi üzerinde ifade edilmesinden elde edilmiş sabitler olup, alt ve üst kontrol limitlerinin ve proses yeterlilik indislerinin hesaplanmasında Tablo 2’deki sabit değerler kullanılır [4].

Tablo 2: X-R kontrol kartları için katsayılar

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Alt grup sayısı (n) | A2 | D3 | D4 | d2 |
| 2 | 1,880 | 0 | 3,267 | 1,128 |
| 3 | 1,023 | 0 | 2,574 | 1,693 |
| 4 | 0,729 | 0 | 2,282 | 2,059 |
| 5 | 0,577 | 0 | 2,115 | 2,326 |

**2.4. Pareto analizi**

Pareto analizi maliyet ve hata analizi için kullanılan basit bir yöntemdir. İşletmelerde doğru ve hızlı bir şekilde karar alabilmek genellikle zordur. Pareto analizi verileri tasnif ederek karar alma işini kolaylaştırır. Söz konusu tasnif için pareto grafikleri kullanılır. Bu yöntemle değişik parçalar için üretim hatalarının direk işçilik giderlerinin veya maliyetin yüzde ne kadarını oluşturduğu görülebilmektedir. Pareto analizi İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto tarafından 1900’lü yılların başlarında ekonomik olaylar için uygulanmış, daha sonra Dr. Joseph M. Juran tarafından kalite kontrolde de uygulanmıştır. Pareto analizi bir problemi oluşturan nedenleri önem derecesine göre sıralayarak, önemlileri önemsizlerden ayırt etmeye ve dikkatleri önemli nedenler üzerinde toplamaya yarar. En önemli unsurlar, daha az önemli olanlardan ayrılarak, en az çaba ile en büyük iyileştirme elde edilir. Pareto grafiğini çizmek için belirli bir zaman aralığında ve düzenli bir şekilde toplanıp çetele tablosuna işlenen verilerden yararlanılmaktadır. Belirlenen nedenler önem derecelerine göre veya miktarlarına göre sıralanır.

Belirlenen nedenler yatay eksene eşit aralıklarla önem sırasına veya miktara göre yerleştirilir, pareto analizi yapılabilmesi için ürün üzerinde çıkan hataların bir listesi yapılır ve belirli bir alan içerisinde hatalarla ilgili veriler toplanır. Bunların toplam hata yüzdesi hesaplanır. Azalan yüzdelere göre bu hata yüzdeleri sıralanır. Bu yüzde değerleri toplanarak birikimli pareto grafiği çizilir. Pareto grafiklerinin yorumlanmasında ise; pareto grafiği bize dikkat ve çabalarımızı gerçekten önemli problemler üzerine yöneltmemizde yardımcı olur. En uzun sütun üzerinde çalışmakla genelde daha küçük sütun üzerinde çalışmaktan daha fazla kazanç elde ederiz. Fakat her zaman en büyük sütun en büyük maliyeti göstermez. Hata oranı esas alındığında önemsiz görülen bir sorun, grafik “maliyet” faktörüne göre yeniden düzenlendiğinde bir numaralı problem olarak görülebilir. Ayrıca o problemin çözümündeki en büyük hatanın maliyeti en uzun sütundan sonraki sütun olabilir. Pareto grafikleri fabrikada meydana gelen duruşların sebeplerini araştırmada, stok kontrolünde, enerji tasarrufunda, güvenlik, verimlilik, pazarlama, satın alma, dağıtım, satış analizi, atık azaltma, ürün çeşitliliği, malzeme temini ve başarıyı izlemek gibi çok çeşitli alanlarda kullanılarak çok faydalı sonuçlar vermektedir [25-28].

**3. Örnek Çalışma**

Bu çalışmada Konya’daki bir hazır beton firmasının ürettiği C20 sınıfı hazır betonun 01.03.2018-19.04.2018 tarihleri arasında 50 günlük basınç dayanım verileri kullanılarak kalite kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizi oluşturulmuş, pareto analizi uygulanarak istatistiksel proses kontrolü yapılmıştır. Bu amaçla tesiste üretilen hazır betondan her biri 25\*25\*25 cm boyutlarındaki beton küp numuneleri 50 gün boyunca her gün 3’er adet olmak üzere alınmış ve 50 gün süre ile kür işlemine tabi tutulmuştur. Bu süre sonunda beton örnekleri TS3323’e uygun bir şekilde basınç dayanım testleri yapılmıştır. Numunelerin ortalama basınç dayanımları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Küp beton numunelerinin ortalama basınç dayanımları

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zaman (gün) | Basınç dayanımı (N/mm2) | R | Zaman (gün) | Basınç dayanımı (N/mm2) | R |
| 1 | 27,7 | 0 | 26 | 25,3 | 1,1 |
| 2 | 26,8 | 0,9 | 27 | 30,2 | 4,9 |
| 3 | 30,2 | 3,4 | 28 | 30,4 | 0,2 |
| 4 | 29,8 | 0,4 | 29 | 29,5 | 0,9 |
| 5 | 25,4 | 4,4 | 30 | 27,8 | 1,7 |
| 6 | 26,2 | 0,8 | 31 | 25,1 | 2,7 |
| 7 | 27,4 | 1,2 | 32 | 30,7 | 5,6 |
| 8 | 30,6 | 3,2 | 33 | 28,4 | 2,3 |
| 9 | 28,2 | 2,4 | 34 | 26,6 | 1,8 |
| 10 | 26,4 | 1,8 | 35 | 31,4 | 4,8 |
| 11 | 29,5 | 3,1 | 36 | 28,7 | 2,7 |
| 12 | 25,1 | 4,4 | 37 | 26,7 | 2,0 |
| 13 | 27,3 | 2,2 | 38 | 25,5 | 1,2 |
| 14 | 31,2 | 3,9 | 39 | 24,9 | 0,6 |
| 15 | 25,0 | 6,2 | 40 | 26,3 | 1,4 |
| 16 | 29,4 | 4,4 | 41 | 27,2 | 0,9 |
| 17 | 26,8 | 2,6 | 42 | 30,4 | 3,2 |
| 18 | 25,9 | 0,9 | 43 | 31,1 | 0,7 |
| 19 | 29,7 | 3,8 | 44 | 27,2 | 3,9 |
| 20 | 30,2 | 0,5 | 45 | 28,4 | 1,2 |
| 21 | 28,4 | 1,8 | 46 | 25,5 | 2,9 |
| 22 | 28,7 | 0,3 | 47 | 24,8 | 0,7 |
| 23 | 27,5 | 1,2 | 48 | 25,9 | 1,1 |
| 24 | 27,2 | 0,3 | 49 | 26,2 | 0,3 |
| 25 | 26,4 | 0,8 | 50 | 27,4 | 1,2 |

Tesisten alınan veriler ile yapılan proses yeterlilik analizi sonucu 1,33>Cp, Cpk>1 olduğundan dolayı proses yeterliliği orta seviyededir ve kabul edilebilir. Ancak bu durum bize tesisin gerekli düzenleme ve iyileştirme çalışmalarına ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Hazır beton fabrikasından alınan basınç dayanım değerleri Tablo 4’de verilen ve TSE tarafından kabul edilen sınır değerlerin içerisinde kalmaktadır. Hazır beton fabrikasından alınan basınç dayanım değerleri analiz edilerek gerekli hesaplamalar yapılmış ve X-R kontrol kartları çizilmiştir (Şekil 2,3).

Tablo 4: Beton sınıfları ve basınç dayanımları

|  |  |
| --- | --- |
| Beton sınıfı | Eşdeğer küp basınç dayanımı (N/mm2) |
| C16 | 20 |
| C18 | 22 |
| C20 | 25 |
| C25 | 30 |
| C30 | 37 |
| C35 | 45 |

Şekil 2: Hazır beton fabrikası basınç dayanımı değerleri için X kontrol kartı

Şekil 3:Hazır beton fabrikası basınç dayanımı değerleri için R kontrol kartı

Şekil 2 ve 3 incelendiğinde basınç dayanım değerleri çok fazla düzensizlik arz etmektedir. Bu durum bize tesiste belirli hataların mevcut olduğunu göstermektedir. Bu hataların hepsi birden ortadan kaldırılamayacağı için daha fazla önem arz eden bazı sebeplere öncelik vermek gerekmektedir. Hangi sebeplere öncelik verilmesi gerektiğini tespit etmek için pareto analizinden faydalanılır. Hazır beton fabrikasından alınan bilgiler doğrultusunda meydana gelen hatalar ve bunların tanımlamaları Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5: Hazır beton fabrikası kalite hatalarının kontrol tablosu

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Hata sebepleri | Hata adedi | % |
| Hammadde kalitesindeki değişimler | 88 | 38,26 |
| Beton dökümündeki işçilik hataları | 58 | 25,22 |
| Numune alımındaki işçilik hataları | 41 | 17,83 |
| İklimsel faktörler | 26 | 11,30 |
| Cihazın kalibrasyon problemleri | 12 | 5,22 |
| Nedeni belirlenemeyen hatalar | 5 | 2,17 |
| Toplam | 230 | 100 |

Pareto analizi kullanılarak hazır beton tesisinde beton kalitesini etkileyen hataların sebepleri de istatistiksel olarak incelenmiştir. Oluşturulan pareto grafiği Şekil 4’de verilmiştir. Buradaki amaç beton kalitesine etki eden ve giderilebilmesi en mümkün olan en önemli hataları tespit ederek bu hataların giderilmesini sağlamaktır. Tablo 5 ve Şekil 4’den de görüldüğü gibi hammadde kalitesindeki değişimlerden kaynaklanan hatalar ve beton dökümü sırasındaki işçilik hataları genel hataların yaklaşık olarak %65’ini oluşturmaktadır. Eğer bu iki hatanın nedenleri iyi analiz edilip minimize edilirse veya tamamen giderilebilirse beton kalitesi artacak ve istenen süreklilik sağlanacaktır.

Şekil 4: Hazır beton fabrikasındaki hataların pareto grafiği (**HKD:** Hammadde kalitesindeki değişimler, **BDİH:** Beton dökümündeki işçilik hataları, **NAİH:** Numune alımındaki işçilik hataları, **İF:** İklimsel faktörler, **CKP:** Cihazların kalibrasyon problemleri, **NBH:** Nedeni belirlenemeyen hatalar.)

**4. Öneriler ve Tartışma**

Konya’daki bir hazır beton firmasının ürettiği C20 sınıfı hazır betonun basınç dayanımı değerleri baz alınarak yapılan istatistiksel kalite kontrol çalışması ile çizilen XR kontrol grafikleri sonucunda beton basınç dayanım değerlerinin çok fazla düzensizlik gösterdiği ve alt-üst kontrol limitlerini yer yer aştığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak yapılan proses yeterlilik analizi verilerinin sonuçlarına göre de 1<Cp<1,33 ve Cpk>1 olduğundan dolayı tesisin proses yeterliliği orta seviyededir ve kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bu analiz sonuçları göz önüne alındığında tesiste belirli hataların var olduğu ve bu hataların mümkün olduğunca tespit edilerek hızlı bir şekilde giderilmesi gerektiği görülmektedir. Ancak bu hataların hepsinin birden ortadan kaldırılamayacağı aşikar olduğundan daha önemli görülen sebeplerin tespit edilip giderilmeye çalışılması gerekmektedir. Bu amaçla da pareto analizi yapılmış ve tesisteki hataların yaklaşık olarak %80’inin hammadde kalitesindeki değişimlerden ve genel işçilik hatalarından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle tesise beslenen hammaddenin stabil hale getirilmesi veya hammadde kalitesinin tesise beslenmeden önce gerekli analizleri yapılarak iyileştirilmelidir. Ayrıca işletmede çalışan işçilerin iş kollarına göre işe başlamadan önce ve sonrasında düzenli olarak eğitime tabi tutulmaları sağlanmalıdır.

**REFERANSLAR**

1. Usta, H. (2005). Hazır beton sektör araştırması. İstanbul Ticaret Odası Yayınları, İstanbul, Türkiye.
2. Devor, R.E., Chang, T., Sutherland, J.W. (1992). Statistical quality design and control. Macmillan Publishing Company, New York, USA.
3. Cook, D.F., Zobel, C.W., Wolfe, M.L. (2006). Environmental statistical process control using an augmented neural network classification approach. European Journal of Operational Research, 174, 3, 1631-1642.
4. Elevli, S., Bedhioğlu, S. (2006). İstatistiksel proses kontrolü teknikleri ile kömür kalitesindeki değişkenliğin belirlenmesi. Madencilik Dergisi, 45, 3, 19-26.
5. Ankara H., Yerel S., Konuk A. (2007). Determination of plate losses and parallelisms with shewhart control charts. The Sri Lanka Geotechnical Society’s First International Conference on Soil & Rock Engineering, 421-430, Colombo, Sri Lanka.
6. Yücel, M. (2007). Mükemmelliğe giden yolda altısigma modeli. 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, 1-15, Malatya, Türkiye.
7. Işığıçok, E. (2012). Toplam kalite yönetimine bakış açısıyla istatistiksel kalite kontrol (ikinci baskı), Ezgi Yayınevi, Bursa, Türkiye.
8. Ankara, H., Bilir, K. (1995). Kriblaj tesisinde kalite denetimi. Madencilikte Bilgisayar Uygulamaları Sempozyumu, 235-240, İzmir, Türkiye.
9. Akın, B. (1996). İşletmelerde istatistik proses kontrol Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
10. Saraç, S., Özdemir, G. (2003). Mermer fayanslarının boyutlandırmasında istatistiksel kalite kontrolü. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, 15-26, Afyon, Türkiye.
11. Bayat, O., Arslan, V. (2004). Statistical analysis in Turkish chromite mining. Scandinavian Journal of Metallurgy, 33, 322-327.
12. Ridley, D., Duke, D. (2007). Moving-window spectral model based statistical process control. International Journal of Production Economics, 105, 492-509.
13. Şahin, O. (2013). İstatiksel proses kontrolünde kontrol grafiklerinin kullanımı ve tekstil sanayinde bir uygulama. Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10, 53-75.
14. Besterfield, D.H. (2004). Quality control. Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.
15. Juran, J.M., Gryna, F.M. (1993) Quality planning and analysis. Mcgraw-Hill Company, New York, USA.
16. Grant, E.L., Leavenworth, R.S. (1996). Statistical quality control. Mcgraw-Hill Company, New York, USA.
17. Burr, J.T. (2005). Elementary statistical quality control (2nd edition). Marcel Dekker Press, New York, USA.
18. Montgomery, D.C. (2007). Introduction to statistical quality control (4th edition). John Wiley and Sons Inc., New Jersey, USA.
19. Ryan, T.P. (2011). Statistical methods for quality improvement (3rd edition). John Wiley and Sons Inc., New Jersey, USA.
20. Arslan, V., Bayat, O. (2012). Çukurova bölgesindeki kömür briketleme fabrikalarına istatistiksel kalite kontrol uygulaması. Türkiye 18. Kömür Kongresi, 111-122, Zonguldak, Türkiye.
21. Kolarik, W.J. (1995). Creating quality industrial engineering series. Mcgraw-Hill Company, New York, USA.
22. Vapur, H., Bayat, O., Akyol, F. (2005). Eti Gümüş A.Ş. liç prosesinde istatistiksel proses kontrolü uygulaması. 19. Uluslararası Madencilik Kongresi, 347-356, İzmir, Türkiye.
23. Zeyveli, M., Selalmaz, E. (2008). İstatistiksel proses kontrol tekniklerinin zincir imalatı yapan bir işletmede uygulanması. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Sempozyumu, 36-45, Elazığ, Türkiye.
24. Aydın, Ö., Pakdil, F., Aydın, Ö. (2010). Kömür kalorisi değişkenliğinin azaltılmasında proses yeterlilik analizi. Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 2, 1-17.
25. Kobu, B. (1987). Endüstriyel kalite kontrol (ikinci baskı). İstanbul Üniversitesi Yayınları, No: 3425, İstanbul, Türkiye.
26. Devar, D.L. (1989). Kalite çemberleri eğitim el kitabı. Şişecam A.Ş. Yayınları, İstanbul, Türkiye.
27. Ulutürk, S. (1999). İstatistiksel kalite kontrol teknikleri. Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
28. Özcan, S. (2001). İstatistiksel proses kontrol tekniklerinden pareto analizi ve çimento sanayinde bir uygulama. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 2, 2, 151-174.