

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜNDE ÇOK BOYUTLU ÖLÇEKLEME ANALİZİNİN
KULLANIMI VE UYGULAMASI

Canan HAMURKAROĞLU¹, İlknur ÖZMEN²

ÖZ

Kalite kontrolde uygulanan çok değişkenli istatistiksel teknikler süreç iyileştirmeye yönelik karar verme ve problem çözme faaliyetlerinde etkin rol oynamaktadır. Çalışmada üretim sektörüne ilişkin veriler kullanılarak çok boyutlu ölçekleme ve kümeleme analizi ile süreçteki herhangi bir probleme neden olan etkenlerin ve gözlemlerin ilişki yapıları ve görüntüleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel süreç kontrol, İstatistiksel kalite teknikleri, Çok boyutlu ölçekleme, Kümeleme analizi.

THE USE OF MULTIDIMENSIONAL SCALING IN THE STATISTICAL QUALITY CONTROL
AND ITS APPLICATION

ABSTRACT

Multivariate statistical techniques used in applied quality control play important roles in problem-solving and decision making activities to improve the process. In this study by using the data from industrial sector, the images and relation structures of factors and observations causing any problem in process have been examined using multidimensional scaling and cluster analysis.

Key Words: Statistical process control, Statistical quality methods, Multidimensional scaling, Cluster analysis.

1. GİRİŞ

Çağdaş kalite yönetiminde, tüm faaliyetlerin odak noktası müşteri memnuniyeti olup amaç, süreç ve üretimde daima ileri gitmektir. Dolayısıyla kalite yönetim faaliyetlerinde sürekli iyileştirme felsefesine paralel olarak istatistiksel kalite kontrol tekniklerinin uygulanmasının hedeflere ulaşma açısından oldukça önemli ve gerekli olduğu artık bilinmektedir. Çünkü bu çağdaş kalite yönetiminin kuramsal yapısını istatistik oluşturmakta ve çekirdeğinde ise istatistiksel süreç kontrolü-IPK yer almaktadır. İstatistiksel yöntemler, üretim sürecinin iyileştirilmesi ve kusurlu üretimin azaltılması için oldukça etkili araçtır (Doğan, 2000).

Bilimsel yöntemlere dayandırılmayan faaliyetler olumlu sonuçlar vermemekte ve üstün rekabet koşullarında kuruluşların pazardan pay alamamalarına ve sonuçta yok olmaları tehlikesiyle karşı karşıya gelmelerine bile neden olmaktadır. Bir çok istatistiksel kalite kontrol teknikleri karar verme ve/veya problem çözme teknikleri olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler, problem çözme faaliyetlerinde, problemi oluşturan temel nedenin bulunması, problemin köklü çözümlerinin bulunarak ortadan kaldırılması ve yinelenmesinin önlenmesi bakımından süreçte önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. IPK' da kullanılan teknikler basit, orta ve ileri düzeyde olmak üzere üç biçimde sınıflandırılmaktadır. Kontrol tabloları, Pareto diyagramı, neden-sonuç diyagramı (Ishikawa diagram), histogram, dağılıma di-

¹ Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, e-posta: caca@hacettepe.edu.tr.

² Başkent Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, e-posta: ilknur@baskent.edu.tr.
Geliş: 24 Nisan 2001; Düzeltme: 13 Kasım 2001; Kabul: 11 Nisan 2002.

yagramı, gruplandırma, kontrol grafikleri yedi temel istatistiksel tekniktir. Bu yedi kalite aracının yanısıra, yedi yeni kalite araçları olarak tanımlanan teknikler ise ilişki diyagramı, yakınlık diyagramı (affinity diagram), sistematik diyagram, matris diyagram, matris veri analiz, süreç program veri kartları, ok diyagramı kalitenin iyileştirilmesinde fayda sağlayan araçlardır (Grant ve Leavenworth, 1996). Bu teknikler sadece üretimde değil, kalite halkasının planlama, tasarım, pazarlama, satın alma ve teknoloji gibi faaliyetlerinde de kullanılmaktadır. Orta düzeyde istatistiksel teknikler ise istatistiksel tahmin ve testler, örnekleme, deney tasarımı olarak ifade edilmektedir. Deney tasarımının gelişmiş yöntemleri, yöneylem araştırması ve çok değişkenli istatistiksel teknikler de ileri düzeyde istatistiksel teknikler olarak verilmektedir (Ishikawa, 1982; Xie ve Goh, 1999).

IPK'da kullanılan temel istatistiksel teknikler çoğu kez basit düzeyde kalmakta ve çok değişkenli istatistiksel tekniklere gereksinim duymaktadır. Çok değişkenli istatistiksel teknikler bir kalite veri kümesindeki ilişkileri yorumlamak ve süreci kontrol etmekle ilgilenen kalite uygulayıcılarının görevlerini kolaylaştırabilen istatistiksel tekniklerdir. Bu teknikler genellikle pazar araştırmalarında ve sosyal bilimlere ilişkin araştırmalarda kullanılmaktadır. Çok değişkenli istatistiksel tekniklerden; temel bileşenler analizi (TBA), faktör analizi (FA), diskriminat-ayırma analizi (DA) ve karşılık getirme (correspondence) analizi (KGA), toplam kalite yönetimine (TKY) ilişkin çalışmalarda kullanım alanı bulmuştur. Ngai ve Cheng (1997) tarafından yapılan çalışmada, TKY'de potansiyel engelleri belirlemek amacıyla TBA ve KGA teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkileri analiz etmektedir. Eğer değişkenlere ilişkin veriler nicel ise TBA, nitel ise KGA teknikleri kullanılmaktadır (Johnson ve Wichem, 1992; Greenacre, 1984). IPK'da ise, genellikle çok değişkenli kontrol grafiklerinin açıklanmasında ve yorumlanmasında yararlanılmaktadır. Örneğin, T² kontrol grafiklerinde, süreçte kontrol dışı noktaların hangi değişkenden kaynaklandığını saptamak için TBA ve DA gibi çok değişkenli istatistiksel teknikler kullanılmıştır (Mason, vd., 1995; Murphy, 1987).

Bu çalışmada, incelenen sürece ilişkin karar vermek ve/veya problem çözmek amacıyla çok boyutlu ölçekleme analizi (ÇBÖ) kullanılacak, bu analizin sonuçları kümeleme analizi (KA) ile desteklenecektir. Sonuçlar Pareto diyagramı ile birlikte yorumlanacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Pareto Diyagramı

Süreçte problemi oluşturan nedenin bulunmasına ilişkin en çok kullanılan temel tekniklerden biri de veriye dayalı olan, Vilfredo Pareto tarafından geliştirilmiş Pareto diyagramıdır. Pareto'ya göre problemlerin kaynaklarının %80'i, tüm problemlerin %20'sini oluşturan basit nedenleri ortadan kaldırmakla çözümlenebilir. 80-20 kuralı olarak ta adlandırılan Pareto diyagramı, az sayıdaki önemli sorunu, çok sayıdaki önemsiz sorundan ayırma tekniği biçiminde de tanımlanabilir. Pareto diyagramının temelinde şu ilkeler yatmaktadır: Problemler genellikle bir çok etkenden kaynaklanır, bu etkenlerin problemlerin oluşmasındaki payları birbirinden farklıdır, etkenlerin küçük bir kısmı geriye kalan çoğunluktan daha etkilidir ve bu önemli etkenlere öncelik verilmelidir. Bu ilkeler ışığında, problem üzerinde en önemli etkiye sahip olan etkeni belirlemek, probleme etki eden etkenleri listelemek ve her biri için oluşan hata sayılarını saptamak, önem sırasına göre sıralamak, herhangi bir problemin % oranlarını elde etmek ve problemlerin maliyet analizini araştırabilmek amacıyla hazırlanmaktadır. Pareto diyagramı, herbir etkenin toplam sonuca, azalan bir oranda katkısı göstermektedir. Pareto analizinde etkenler için seçilen birim çok önemlidir. Örneğin hata sıklıkları ya da oranları ele alındığında önemsiz olarak görülen bir etken maliyet açısından ele alındığında bir numaralı sorun olabilir. Pareto diyagramını oluşturan adımlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Hangi sorunların araştırılacağına ve verilerin nasıl toplanacağına karar verilir.
2. Analiz için ölçü birimi seçilir (saat, gün, adet gibi).
3. Analiz edilecek veriler için zaman aralığı seçilir. Bu bir kaç saat sürebileceği gibi günler, aylar bile gerekebilir.
4. Pareto diyagramı için veri çizelgesi hazırlanır.
5. Dikey eksenlerden soldaki eksen etkenlerin sıklıklarını, sağdaki ise birikimli sıklıkları gösterir.
6. Yatay eksen üzerinde etkenler sıklıklarına göre azalan bir biçimde sıralanır. Sıklığı çok az olan birkaç etken birleştirilerek "diğerleri" olarak adlandırılan bir etken oluşturulabilir. Bu etken yatay eksen üzerinde en son sıraya yerleştirilir (Hamurkaroğlu ve Karakaş, 1999).

2.2. Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi

ÇBÖ, n tane gözlem (nesne) arasındaki uzaklık değerlerini kullanarak bu gözlemlerin çok boyutlu uzaydaki konumlarını, ilişki yapısını ve görüntüsünü ortaya koymak için geliştirilmiş çok değişkenli istatistiksel analiz tekniğidir.

ÇBÖ'de uzaklık değerlerini kullanarak mümkün olduğunca az boyut ile gözlemlerin yapısı ortaya konulmaya çalışılmaktadır. ÇBÖ'de genel olarak, metrik ve metrik olmayan ölçekleme olmak üzere iki tür ölçekleme yönteminden söz edilmektedir. Metrik ölçekleme yönteminde, verilen bir gözlemin konumunu belirlemede doğrudan uzaklık değerlerinden yararlanılmaktadır. Metrik olmayan ölçekleme yönteminde ise, gözlemler arasındaki uzaklık değerleri yerine sıra sayıları kullanılmaktadır. Hesaplamaların basit olmasına karşın uzaklık fonksiyonunun monoton dönüşümünün sağlıklı olması nedeniyle metrik ölçekleme yöntemi pek yaygın olarak kullanılmamaktadır. Diğer yandan elde sadece benzerlik (benzemezlik) ölçümleri olması durumunda metrik olmayan yöntemlerin kullanılmasının zorunluluk olması yanında, kayıp ya da eksik gözlem olması durumunda da daha iyi sonuçlar vermesi nedeniyle metrik olmayan ölçekleme yöntemleri tercih edilmektedir. Nitekim kullanılan bilgisayar programlarının çoğu ÇBÖ'nün metrik olmayan ölçekleme yöntemleri üzerine kuruludur. ÇBÖ'de, sıralanmış uzaklık değerlerinden yararlanılan metrik olmayan ölçeklemeye ilişkin temel algoritma Shepard-Kruskal algoritmasıdır. Bu algoritmaya ilişkin adımlar şu şekildedir:

1. Farklılık ölçümleri (benzemezlik) matrisinin köşegen elemanları hariç tüm elemanlarının sıralanması.
2. Çok boyutlu (p boyutlu) uzaydaki gerçek şekil ile indirgenmiş boyutlu (k boyutlu) uzayda kestirilen şekil arasındaki farklılığın bir ifadesi olan stres değerinin hesaplanması.
3. En küçük stres değerli k-boyuta uyan en iyi görüntünün belirlenmesi.

Elde edilen şeklin gerçek şekle uygunluğunun bir ölçüsü olarak Kruskal tarafından geliştirilen tolerans oranlarından yararlanılarak s-stres değeri,

Stres Değeri	Uyum
0.00-0.025	Tam uyum
0.025-0.05	Mükemmel uyum
0.05-0.10	İyi uyum
0.10-0.20	Düşük uyum
≥0.20	Uyum yok

biçiminde belirlenmektedir.

ÇBÖ analizi, eğer amaç boyut indirgemekse temel bileşenler analizi yerine de kullanılabilir. Bu durumda p değişken arasındaki uzaklık değerlerinden yararlanılarak değişkenler arasındaki ilişki yapısı araştırılmaktadır. Diğer yandan, eğer amaç gözlemleri gruplandırmak ise o zaman ÇBÖ analizinden elde edilen sonuçlar KA sonuçları ile desteklenebilmektedir (Johnson ve Wichern, 1992; Tatlıdil, 1996).

2.3. Kümeleme Analizi

KA uzaklık ya da benzerlik matrislerinden yararlanılarak gözlemleri ya da değişkenleri gruplandırarak araştırmacıya özet bilgiler sağlayan çok değişkenli istatistiksel tekniğidir. KA'da küme sayısı bilinmemekte ve sadece verilerin mevcut durumuna ilişkin sonuçlar vermektedir.

KA'da gözlemleri ya da değişkenleri uygun gruplara (kümelere) ayırırken, bu ayırım sırasında kullanılan yaklaşımlara göre hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan yöntemlerden yararlanılmaktadır. Hiyerarşik kümeleme, gözlemlerin benzerliklerini göz önüne alarak aşama aşama kümelere girecek elemanları belirleyen bir yöntemdir. Hiyerarşik kümelemede, gözlemlerin birbirleri ile birleştirilmesinde kullanılan yaklaşımlara göre; tek bağlantılı, tam bağlantılı, merkezi kümeleme ve Ward'ın kümeleme yöntemi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri, küme sayısı konusunda bir ön bilgi varsa ya da araştırmacı küme sayısına karar vermişse hiyerarşik kümeleme yöntemlerine tercih edilmektedir. Hiyerarşik olmayan kümelemede en yaygın olarak Mac Queen tarafından geliştirilmiş K-ortalama ve en çok olabilirlik yöntemleri kullanılmaktadır (Johnson ve Wichern, 1992; Tatlıdil, 1996).

3.UYGULAMA

Çalışmada ambalaj sektörüne (kutu üretimi) ilişkin veriler incelenmiştir. Bilindiği üzere ambalaj sektörü gibi üretim ve kullanım kalitesi çok önemli olan sektörlerde; zamanında teslim, müşteri beklentilerine anında yanıt verme yeteneği, esneklik gibi özellikler rekabette vazgeçilmez özelliklerdir. Diğer yandan katma değer büyük kısmı makineler tarafından yaratılmaktadır. Bu nedenle makinelerin durma sürelerinin azaltılması firma açısından süreç iyileştirmede büyük önem taşımaktadır. Kutu üretimi yapan bir firma için makinelerdeki durmaların üretim sürecinde de durmaya neden olduğu dolayısıyla bu önemli zaman kaybının hedeflenen üretim ve verimlilik değerlerine ulaşılmasını, yüksek maliyeti ve çalışanların motivasyonunda azalma olmasını da beraberinde getirdiği saptanmıştır. Bu nedenle, firma için daha önce yapılan bir çalışmada, temel istatistiksel tekniklerden yararlanarak makinelerin durmalarına neden olan etkenlerin saptanması ve duruş sürelerinin azaltılmasına ilişkin neden-sonuç diyagramı ve Pareto diyagramı kullanılmıştır (Hamurkaroğlu ve Karakaş, 1999). Firmanın ismi ve veriler; istekleri doğrultusunda burada verilmemiştir.

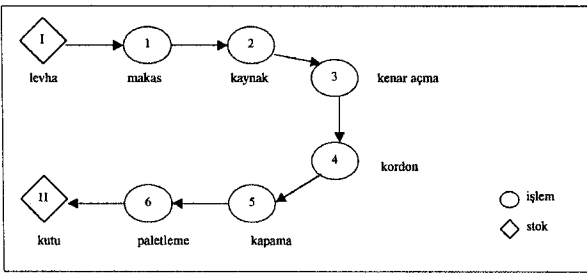
Bu çalışmada ise, kutu üretim sürecine ilişkin daha önce yapılan çalışmada ele alınan Pareto diyagramına göre daha ayrıntılı bilgi etmek amacıyla ÇBÖ analizi kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlardan, ÇBÖ

uygulanmasının problem çözme faaliyetlerinde dolayısıyla süreç iyileştirmedeki etkin rolü vurgulanmıştır. Firmanın kutu üretimine ilişkin üretim süreci şematik olarak Şekil 1'de özetlenmiştir.

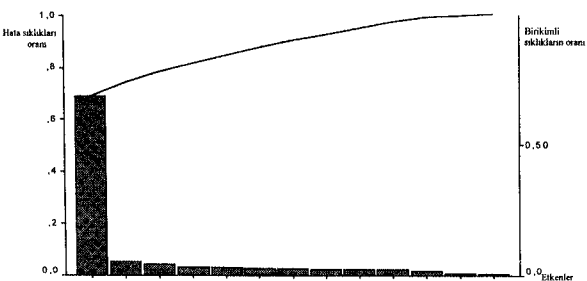
Bu süreç için makinaların duruş nedenlerinin, kuttunun yapımında kullanılan levhanın (materyalin) olmaması, kapak olmaması, baskı değişimi, makas, kaynak, kenar açma, kordon, kapama, paletleme makinalarından ya da konveyör, elektrik arızaları, eleman olmaması ve bakım etkenlerinden kaynaklandığı neden-sonuç diyagramı ile belirlenmiştir. Üretim süreci kesintisiz devam etmekte olup, bu etkenlere ilişkin üç günlük veri alınmış, sürece etki eden etkenlere ilişkin durma süreleri (dakika) her saat başı kaydedilmiş ve bunlara ilişkin veriler elde edilmiştir. Bu etkenlerin sıklık oranlarına ilişkin Pareto diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye göre makinaların durmalarına neden olan en önemli etkenin kapama makinası olduğu görülmüştür (Hamurkaroğlu ve Karakaş, 1999).

Pareto diyagramı sürece etki eden en önemli etken ya da etkenlere karar vermemizi sağlarken, makina durma sürelerinin hangi saat dilimlerinde önemli olduğuna ilişkin herhangi bir bilgi vermemektedir. Hem etkenler hem de etkenlerin gözlemlendiği saat dilimleri incelenmek istenildiğinde, ÇBÖ analizinin kullanılmasının uygun olduğu söylenebilir. Böylece karar verme ve/veya problem çözme faaliyetlerinde daha etkin düzeltici ve önleyici faaliyetlerde bulunmak mümkün olacaktır.

Bu çalışmada hem makinaların durmalarına neden olan etkenlerin hem de saat dilimlerinin iki boyutlu



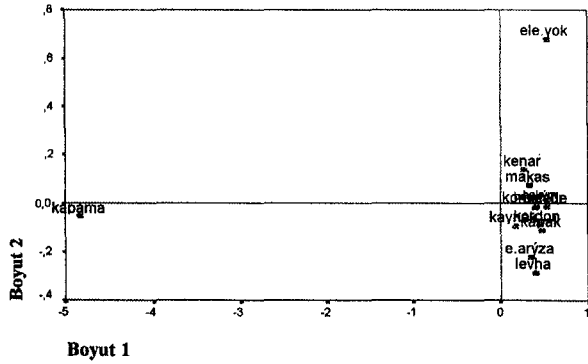
Şekil 1. Kutu Üretim Sürecinin Şematik Gösterimi.



Şekil 2. Makinaların Durmalarına Etki Eden Etkenlere İlişkin Pareto Diyagramı.

uzayda konumlarını görmek amacıyla ÇBÖ analizinde metrik olmayan ölçekleme yöntemi kullanılarak Kruskal algoritmasından yararlanılmıştır. Makinaların durmalarına neden olan etkenler; X1-levha, X2-kapak, X3-baskı, X4-makas, X5-kaynak, X6-kenar açma, X7-kordon, X8-kapama, X9-paletleme, X10-konveyör, X11-elektrik arıza, X12-eleman yok ve X13-bakım biçiminde, saat dilimleri (sd) ise; sd1 (08-09), sd2 (09-10), sd3 (10-11), sd4 (11-12), sd5 (12-13), sd6 (13-14), sd7 (14-15), sd8 (15-16), sd9 (16-17), sd10 (17-18), sd11 (18-19), sd12 (19-20), sd13 (20-21), sd14 (21-22), sd15 (22-23), sd16 (23-24), sd17 (24-01), sd18 (01-02), sd19 (02-03), sd20 (03-04), sd21 (04-05), sd22 (05-06), sd23 (06-07), sd24 (07-08) biçiminde gösterilmiştir.

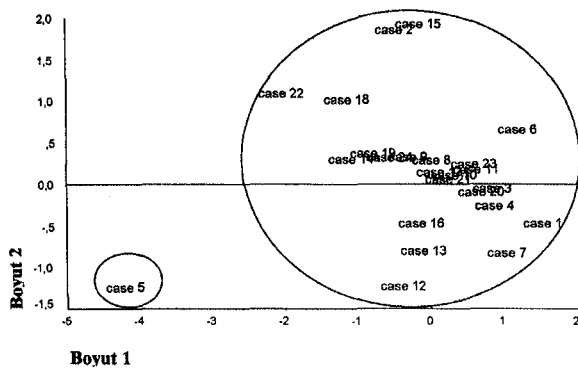
Makinaların durmalarına neden olan etkenlerin iki boyutlu uzaydaki koordinat değerlerinden yararlanılarak konumlarına ilişkin görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir. ÇBÖ analizi sonuçlarına göre, etkenlerin çok boyutlu uzaydaki görüntüsü ile indirgenmiş boyutlu uzaydaki görüntüsü arasındaki farklılığın bir göstergesi olan stres katsayısı 0.05'ten biraz büyük ($s=0.06564$) ve açıklama oranı $R^2=0.995$ olarak bulunmuştur. Buna göre etkenlerin iki boyutlu görüntüsünün iyi uyuma yakın bir görüntü olduğu söylenebilir. Ayrıca Pareto diyagramından görülemeyen makina durma sürelerinin hangi saat dilimlerinde olduğunu belirlemek için de ÇBÖ analizi kullanılmıştır. Saat dilimlerine ilişkin koordinat değerlerinden yararlanılarak konumlarına ilişkin görüntü Şekil 4'te verilmiştir. (Şekilde saat dilimleri (sd) case olarak ifade edilmiştir). Saatlere ilişkin ÇBÖ analizi sonuçlarına göre stres katsayısı 0.05'ten küçük ($s=0.01857$) ve açıklama oranı $R^2=0.915$ olması nedeniyle elde edilen görüntünün tam uyuma yakın olduğu, yani elde edilen görüntünün gerçek görüntüyü yansıttığı söylenebilir. Şekil 4'te birinci boyuta göre bakıldığında 08-09 (sd1) ve 12-13 (sd5) saatlerinin bulunduğu konumların farklı (birbirine en uzak) olduğu, benzer biçimde ikinci boyuta göre bakıldığında 22-23 (sd15) saati ile 12-13 (sd5) ve 19-20 (sd12) saatlerinin konumlarının farklı olduğu görülmektedir. Makinaların durduğu en farklı saat dilimlerini belirten boyutlara göre, konumlarının farklı olmasına neden olan etkenlerin belirlenmesi yararlı olacaktır. Bu amaçla birinci boyuta göre 08-09 saati (sd1) ile 12-13 saatinin (sd5), etkenler itibariyle grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde bu iki saat dilimi arasında farklılığa neden olan etkenler kapama (X8), eleman yok (X12), kenar (X6), bakım (X13), kaynak (X5) ve makas (X4) etkenleridir. Şekil 3 incelendiğinde kapama etkeninin önemli görünmesine karşın saatler bakımından ele alındığında kapamadan başka beş etkenin de (Şekil 5) önemli olduğu görülmektedir. Bu sonucun, sürecin iyileştirilmesine yönelik önlem alma faaliyetlerinde göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır.



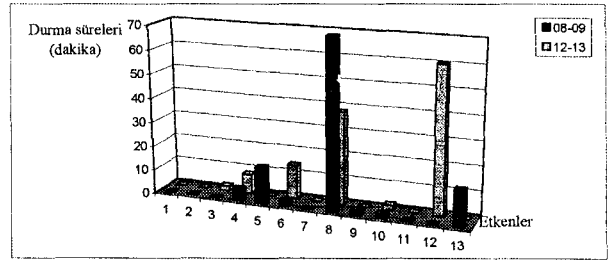
Şekil 3. Kuruskal Algoritmasına Göre Değişkenlerin Konumları.

İkinci boyuta göre 19-20 saatine (sd12) göre daha fazla farklılık gösteren 12-13 saati (sd5) ile 22-23 saatinin (sd15) etkenler itibariyle grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'ya göre bu iki saat dilimi arasında farklılığa neden olan etkenler kapama (X8), eleman yok (X12), kapak (X2), kenar (X6), kordon (X7) ve makas (X4)' tır. Dolayısıyla 22-23 ve 12-13 saat dilimleri göz önüne alındığında makinaların durmasına neden olan sadece kapama etkeni olmayıp eleman yok, kapak, kenar, kordon ve makas etkenlerinden de kaynaklanmaktadır. Önleyici/düzeltilici kararlar verilirken elde edilen bu bilgiler ışığında, farklılığı yaratan saatlerde önemli bulunan etkenler üzerinden değerlendirme yapılarak daha etkin kararlar alma olanağı sağlanacaktır.

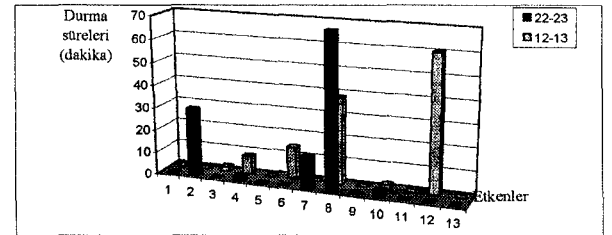
Ayrıca ÇBÖ analizinden elde edilen sonuçlara göre birbirine en yakın saatlerin bir grup oluşturduğu düşünülerek bu gruplar Şekil 4'te daire içine alınarak gösterilmiştir. Buna göre 12-13 saati (sd5) tek başına bir grup oluştururken, diğer saat dilimleri ayrı bir grup oluşturularak tüm saat dilimleri iki grup ile ifade edilmiştir. Şekil 4'te gösterilen gruplandırmayı karşılaştırmak amacıyla KA'dan yararlanılmıştır. KA'da K-ortalama tekniği ile sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre; 12-13 saatinin (2), diğer saat dilimlerinin ise (1) olması ÇBÖ analizinden elde edilen gruplandırmayı destekler niteliktedir (Bkz. Ek1).



Şekil 4. Kuruskal Algoritmasına Göre Saatlerin Konumları.



Şekil 5. 08-09 ve 12-13 Saatlerin Değişkenler İtibariyle Grafiği.



Şekil 6. 12-13 ve 22-23 Saatlerin Değişkenler İtibariyle Grafiği.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Kalite kontrol uygulamalarında süreçteki bir probleme neden olan etkenlerin belirlenmesi kadar, sorunu yaratan etkenlerin hangi zaman aralıklarında gözlenmesi de iyileştirmeye ilişkin kararlar almada ve problem çözmeye oldukça önemlidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda çok basit düzeydeki istatistiksel tekniklerin yanısıra çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanılması da yararlı olacaktır.

Bu çalışmada, kalite uygulamalarında çok değişkenli istatistiksel tekniklerden ÇBÖ ve KA'nın kullanılabileceği gösterilmiş, sonuçlar SPSS programından elde edilmiştir. ÇBÖ sonuçlarına göre, kutu üretim sürecinde sorunu yaratan, başka bir deyişle makinaların durmalarında etkili olan en önemli etken kapama makinasıdır. Bu sonuç, Pareto diyagramı ile elde edilen sonuçla da çakışmaktadır. Ayrıca makinaların durma sürelerinin hangi saat dilimlerinde olduğunu belirlemek amacıyla yapılan ÇBÖ'ye göre, en önemli saat dilimlerinin; 08-09, 12-13 ve 22-23 olduğu görülmüştür. Her iki boyuta göre ise, makinaların durmasında özellikle 12-13 saat diliminin çıkması dikkat çekici bir sonuç olup, önlem alma faaliyetlerinde bu saat dilimine yoğunlaşılması önerilebilir. Öte yandan bu saat dilimleri (08-09, 12-13 ve 22-23) açısından etkenler incelendiğinde, kapama etkeninin dışında başka etkenlerin de önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen bu sonuçlar süreçte sorunu yaratan; hem makinaların durmasına etki eden etkenler hem de bu etkenlerin gözlemlendiği saat dilimleri açısından ayrıntılı bilgiler verdiğinden, sürecin iyileştirilmesine yönelik kararların alınmasında daha etkili olacaktır.

Ayrıca benzerlikleri (birbirine en yakın) açısından saat dilimleri gruplandırıldığında iki küme ile ifade edilebileceği sonucuna ulaşılmış, ÇBÖ'den elde edilen bu sonuç KA ile desteklenmiştir.

Bu çalışmanın bir sonucu olarak, çok değişkenli istatistiksel tekniklerden ÇBÖ ve KA'nın süreçteki probleme etki eden etkenlerin belirlenmesi, gözlemler arasındaki farklılığın ortaya çıkartılması ve farklılık gösteren bu gözlemlere etki eden etkenlerin belirlenmesi açısından oldukça yararlı olduğu söylenebilmektedir.

IPK uygulamalarında, kontrol edilmek istenen kalite özelliklerinin çok sayıda olması durumunda değişkenler arasındaki ilişkileri açıklamak ve yorumlamak için çok değişkenli istatistiksel tekniklerden yararlanılması uygun olacaktır. Örneğin, iki değişkene dayalı dağılım diyagramı yerine çoklu korelasyon, kanonik korelasyon analizi ve çok değişkenli regresyon analizi gibi tekniklerin kullanılabilirliği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Doğan, İ.Ö. (2000). Kalite uygulamalarının işletmelerin rekabet gücü üzerine etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2, 1.
- Hamurkaroğlu, C. ve Karakaş, M. (1999). Bir üretim hattında temel istatistiksel tekniklerden Pareto analizi ve Pukö döngüsü yardımıyla makina duruşlarının tespiti ve bunların azaltılması. I. *İstatistik Kongresi*, 5-9 Mayıs 1999, Belek, Antalya.
- Ishikawa, K. (1982). *Guide to Quality Control*. Asian Productivity Organization, 2nd ed., Tokyo.
- Grant, E.L. ve Leavenworth, R.S. (1996). *Statistical Quality Control*. WCB Mc Graw-Hill, U.S.A.
- Greenacre, M.J. (1984). *Theory and Applications of Correspondence Analysis*. Wiley, New York.
- Johnson, R.A. ve Wichern, D.W. (1992). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 3rd ed., Prentice Hall. Inc., Englewood Cliffs.
- Mason, R.L., Tracy, N.D. ve Young, J.C. (1995). Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation. *Journal of Quality Technology*, 27, 99-108.
- Murphy, B.J. (1987). Selecting out of control variables with the T^2 multivariate quality control procedure. *The Statistician* 36, 571-583.
- Ngai, E.W.T. ve Cheng, T.C.E. (1997). Identifying potential barriers to total quality management using principal component analysis and correspondence analysis. *International Journal Quality & Reliability Management*, 14, 4, 391-408.
- SPSS INC. (1998). *SPSS Advanced Statistics*. 8.0, SPSS Inc., Chicago.

Tatlıdil, H. (1996). *Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz*, Engin Yayın., Ankara.

Xie, M. Ve Goh, T. N. (1999). Statistical techniques for quality, *The TQM Magazine*, 11(4), 238-242.



Canan Hamurkaroğlu, 1960'da doğdu. Halen Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü'nde Yrd.Doç. olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk sahibidir. İlgi alanları, Uygulamalı İstatistik, Olasılık, Bilgi Kuramı, İstatistiksel Süreç Kontrol, Kalite Yönetimi şeklindedir.



İlknur Özmen, 1967'de doğdu. Halen Başkent Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nde Yrd.Doç. olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk sahibidir. İlgi alanları, Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Parametrik Olmayan İstatistiksel Analiz, Uygulamalı İstatistik, Matematiksel İstatistik, Poisson Regresyon Analizi şeklindedir.

EK 1. Saat Dilimlerinin ÇBÖ ve KA'ya Göre Gruplandırılması.

Saat Dilimleri	Ç.B.Ö.'ye Göre	K.A.'ya Göre
08-09	1	1
09-10	1	1
10-11	1	1
11-12	1	1
12-13	2	2
13-14	1	1
14-15	1	1
15-16	1	1
16-17	1	1
17-18	1	1
18-19	1	1
19-20	1	1
20-21	1	1
21-22	1	1
22-23	1	1
23-24	1	1
24-01	1	1
01-02	1	1
02-03	1	1
03-04	1	1
04-05	1	1
05-06	1	1
06-07	1	1
07-08	1	1