

TALAŞLI İMALATTA KÜÇÜK PARTİLİ ÜRETİMLER İÇİN BİR İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL UYGULAMASI

Suna ÖZEL Burak BİRGÖREN

Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye

ÖZET

Firmalar müşteri taleplerinin çeşitliliğine ve kısalan ürün hayat seyrine bağlı olarak üretim sistemlerini değiştirerek ürün çeşidinin fazla, parti büyüklüğünün az olduğu üretim sistemlerine yönelmiştir. Rekabetin getirdiği esneklik, yüksek kalite ve düşük maliyet hedefleri de üretim sistemlerini etkilemektedir. Esnek imalat sistemleri ya da tam zamanında üretim gibi modern sistemlerde, ürün çeşidi fazla buna karşın üretim miktarı azdır. Bu tür sistemler “küçük partili (short-run) üretim sistemleri” olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma küçük partili üretim sistemlerinde bir istatistiksel proses kontrol uygulamasını içermekte, ayrıca geleneksel istatistiksel proses kontrol yöntemlerinden ve istatistiksel hipotez testlerinden nasıl yararlandığı tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), Küçük Partili Üretim, İstatistiksel Hipotez Testi

A STATISTICAL PROCESS CONTROL APPLICATION TO SHORT-RUN PRODUCTIONS IN MACHINING PROCESSES

ABSTRACT

Owing to customer demands and short product life cycles, manufacturing trends have shifted towards a variety of mixed products with small batch sizes. Moreover, as a result of flexibility due to competition, higher quality and lower cost targets also affect the production systems. In modern automated systems, such as flexible manufacturing systems and just-in-time production, products variety is high, but production rate is low. These kind of production systems are called “short-run production systems”. This work includes an application of statistical process control in short-run production systems. It also discusses use of traditional statistical process control methods and statistical hypothesis tests.

Key Words: Statistical Process Control (SPC), Short-Run Production, Statistical Hypothesis Test

1. GİRİŞ

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), bir üretim sürecinde kaliteyi sağlamak, sürdürmek ve iyileştirmek amacıyla kullanılan istatistik teknikleri içermektedir. Bu tekniklerden en önemlisi ise İPK çizelgeleridir. İPK çizelgelerinin amacı süreç (proses) performansının kabul edilebilir kalite seviyesinde olup olmadığını belirlemektir [1,2]. İPK çizelgelerinde sürece ya da ürüne ait olan, değişkenlik gösteren ve kalite değişkeni olarak adlandırılan özellikler çizelgenir.

Kontrol çizelgesi, süreçteki tesadüfi olmayan durumu veya kontrol dışı olma durumunu saptamaya yarayan bir araçtır. Kontrol çizelgeleri tasarlanırken üç unsur göz önünde bulundurulur. Bunlar örnek büyüklüğü, örnekleme sıklığı ve kontrol sınırlarıdır. Kontrol sınırları genellikle süreç standart sapmasının belirli bir katsayı ile çarpılıp ortalamaya eklenmesiyle hesaplanmaktadır. İPK çizelgelerini geliştiren Shewhart, bu katsayının 3 olmasını önermiştir, bu öneri günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Kalite değişkenine ait ölçüm değerleri ya da bunlardan elde edilen bir istatistiksel değer (ortalama ya da standart

sapma gibi) çizelge üzerine üretim sırasıyla işaretlenir. Bu ölçüm değeri kontrol bölgesi olarak adlandırılan sınır değerler arasında yer alıyorsa süreç kontrol altında kabul edilir. Bu değer kontrol bölgesi dışında olması durumu ise sürecin kontrol altında olmadığını, süreçte bazı hataların olduğunu ifade etmektedir. Süreçte değişikliğe neden olan bu hataların kaynakları, sürecin doğasında var olan genel nedenler olabileceği gibi genel nedenlere kıyasla baskın olan ve süreçte iz bırakan özel nedenler de olabilir [1]. Çizelgede işaretlenen noktaların kontrol bölgesi dışında yer alması durumunda hatanın nedeni araştırılır ve süreci düzeltme yolunda gereken tedbirler alınır. Hataların belirlenmesindeki etkinlik süreç uzmanlığına ve İPK uygulamalarındaki tecrübeye bağlıdır.

1980'li yıllarda İPK hurda ve yeniden işlemeyi azalttığı, ürünlerde kaliteyi arttırdığı düşüncesiyle tercih edilmekteydi. Çoğunlukla, az ürün çeşidi ve büyük miktarda üretimin olduğu üretim sistemlerinde kullanılmaktaydı. Bugün müşteri isteklerindeki artış, küçük parti büyüklükleri ve karmaşıklığının artması gibi nedenler, küçük partili üretimin yaygınlaşmasına yol açmıştır [4]. Bu tür üretimler ise geleneksel İPK çizelgelerinin kullanımını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle küçük partili üretimlere uygun yeni İPK tekniklerinden bahsedilecek, ardından mühimmat üreten bir fabrikada yapılan uygulama ayrıntılı şekilde ele alınacaktır.

2. KÜÇÜK PARTİLİ ÜRETİMLERDE İPK

1990'lı yıllarda karmaşıklaşan müşteri talepleri ve kısalan ürün hayatları nedeniyle imalat sistemlerinde küçük partili üretime doğru bir yönelim olmuştur. Yine bu dönemde küreselleşen dünya piyasalarında yüksek kaliteli ürünlere talep artmıştır. İmalatın giderek artan karmaşıklığı ve verimlilik artışına duyulan ihtiyaç, imalatta esnekliğin artması, yükselen ürün kalitesi ve düşen maliyetler, imalat uygulamalarının çehresini önemli şekilde değiştirmiştir [5]: Bunların sonucunda gelişen esnek imalat sistemleri ya da tam zamanında üretim gibi modern imalat uygulamalarında, ürün çeşidi fazla buna karşın üretim miktarı azdır. Bu tür sistemlerde üretim küçük partiler halinde gerçekleştirilmektedir.

Geleneksel \bar{X} , R ve S çizelgelerinin seri imalatta kullanımı iki aşamadan oluşur: Öncelikle süreçten genellikle 15-25 altgruptan oluşan "ilk örnek" alınarak çizelge oluşturulur. Ardından süreçte önemli bir müdahale oluncaya kadar bu çizelge hata kaynaklarını saptamak için kullanılır. Diğer taraftan parti büyüklüğünün az, ürün çeşidinin fazla olduğu sistemlerde bir ilk örnek oluşturacak veri daha toplanmadan parti üretimi sona erdiğinden bu aşamaları uygulamak zordur. Bu durumlar için geliştirilen çizelgelere küçük partili (short-run) İPK çizelgeleri denmektedir. Bunlar geleneksel çizelgelerin küçük partili üretime uyarlanmış biçimleridir: küçük partili \bar{X} , R ve S, IX (Individual X), MR (Moving Range) çizelgeleri gibi [4].

Bu çizelgeler, birbirine benzer kalite değişkenlerine ait ölçüm değerlerinin öncelikle nominal/hedef değerlerden çıkarılması prensibine dayanır. Örneğin Montgomery [2], iki farklı parçadan alınan çap ölçümlerini ele almaktadır: İki farklı çap için iki farklı nominal değer söz konusudur. Önce gözlem değerlerinden nominal değerler çıkarılmakta, ardından bu fark değerleri kullanılarak altgrup ortalamaları hesaplanmakta ve aynı \bar{X} çizelgesinde işaretlenmektedir. Hangi noktanın hangi çap değişkenine ait olduğu da ayrıca çizelgede gösterilmektedir. Benzer şekilde R çizelgeleri de oluşturulmaktadır. Bu örnekte çapların standart sapmaları eşit varsayılmıştır. Ayrıca Montgomery [2], standart sapmaların ayrı olduğu durumlar için de değişken değerlerinin standartlaştırılmasını (ölçüm değerlerinin nominal değerlerden çıkarılması ve standart sapmaya bölünmesi) önermektedir. Benzer küçük partili İPK uygulamalarına Wise ve Fair [4] bir talaşlı imalat sürecinden, Riberio ve Cabral [6] da bir döküm sürecinden örnekler vermektedir.

Geleneksel çizelgelerin uyarlamalarının dışında, küçük partili üretim için özel bazı yöntemler geliştirilmiştir. Quesenberry [7,8,9] yukarıda bahsedilen standartlaştırma yöntemlerini geliştirerek tek gözlemleri, altgrup ortalamalarını ve örnek varyanslarını standart normal değişkenlere dönüştüren formüller önermiştir. Bu formüllerle oluşturulan çizelgeler Q-çizelgeleri olarak adlandırılmaktadır. Quesenberry [10,11,12] ayrıca Q-çizelgelerinin performansını artırmak için bazı iyileştirmeler yapmıştır. Del Castillo [13], Q-çizelgeleri ve diğer standartlaştırma yöntemlerini içeren bütün küçük-partili İPK çizelgeleme yöntemlerinin genel bir değerlendirmesini yapmış ve hangi üretim ortamlarında nasıl kullanılacaklarını ele almıştır.

Küçük partili İPK çizelgelerinde, benzer kalite değişkenlerinin gruplanmasıyla tek çizelgede daha çok sayıda ve daha sürekli veri kontrol edilebilmektedir: Bir ilk örnek oluşturulabilmekte ve buradan elden edilen kontrol sınırlarıyla sonraki çizelge noktaları denetlenmektedir. Ayrıca, kontrol edilmesi gereken çizelge

sayısı da azalmaktadır; bu durum bol ürün çeşidinin olduğu küçük partili üretimlerde kalite değişkeni sayısını makul bir düzeye indirgemektedir [4].

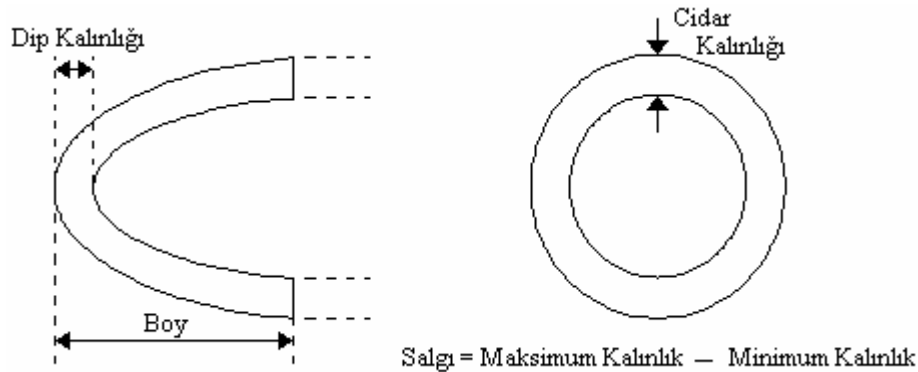
Diğer taraftan değişkenler gruplansa dahi İPK çizelgesinin sürekli kullanımı her zaman mümkün olmayabilir. Örneğin, üç ürüne ait üç değişkenin aynı çizelgede gruplandığı bir uygulamayı ele alalım. Bu ürünlere ait partilerin üretimi zaman ekseninde ardışık olmayabilir (farklı aylarda yapılan birer haftalık üretimler gibi); ardışık ya da eşzamanlı olsa bile kısa bir süre devam edip uzun süre kesilebilir (üç ürünün bir yıl içinde sadece iki hafta boyunca üretilmesi gibi). Bu noktada asıl sıkıntı, geleneksel çizelgelerin tek değişken için uzun süreli kullanıma yönelik tasarlanmış olmasıdır. Küçük partili üretimlerde bir ilk örnek oluşturulmadan her verinin elde edilip edilmediği değerlendirilmesi daha yerinde olacaktır. Bu tür bir kullanım, geleneksel çizelgelerin kurulmasını içeren ilk aşamaya benzer. İlk örnek oluşturulurken hata kaynaklarına işaret eden rasgele olmayan izler dikkatle izlenir. Örnek oluşturulduğunda veriler tekrar incelenerek rasgele olmayan izler, kontrol-dışı noktalar araştırılır ve nedenleri saptanmaya çalışılır. Küçük partili üretimlerde de bu yol kullanılarak, elde az veri de olsa, rasgele olmayan izler ve nedenleri saptanabilir. Buradan çıkarılacak sonuçlarla aynı ürünün daha sonraki üretimine yönelik bilgiler elde edilebilir. Ayrıca sürece ait problemler saptanarak aynı süreçten geçen diğer ürünler için de kaliteyi artırıcı önlemler alınabilir.

3. UYGULAMA

Bu çalışmada küçük partili İPK çizelgeleri mühimmat üreten bir fabrikada uygulanmıştır. Firmada daha önce yapılmış bir istatistiksel çalışma mevcut değildir. Uygulamada bir mühimmata ait üretim süreci incelenmiştir. Geçmiş veriler değerlendirilirken pareto analizinden yararlanılmıştır. 14513 adetlik üretimde gözlenen 560 adet hatalı üründen 402 adedi pres operasyonundan kaynaklanmaktadır. Pres operasyonundan kaynaklanan hatalar giderildiğinde hatalı ürün oranında % 71,79 iyileştirme sağlanacaktır. Bu yüzden çalışma pres operasyonuna odaklanmıştır. Pres sürecindeki kalite değişkenleri salgı, dip ve boydur. Bu değişkenler Şekil 1’de gösterilmiştir; şekilde merminin ön kısmı (tapa) yer almaktadır. Dip kalınlığı merminin uç kısmındaki cidar kalınlığını, boy ise tapanın uzunluğunu ifade eder.

Salgı, aynı eksen üzerindeki maksimum ve minimum cidar kalınlıkları arasındaki farka verilen addır. Spesifikasyonların izin verdiği maksimum salgı miktarı 2mm’dir, fakat 5mm’ye kadar ölçülen salgı değerleri düzeltilebilir hata olarak değerlendirilmektedir.

Salgı değişkeninin spesifikasyon dışında olması durumunda ürün ya yeniden işlenmekte ya da iskartaya çıkarılmaktadır. Bu durum işletmeye işgücü ve malzeme maliyetleri açısından yük getirmektedir. Bu nedenlerle çalışmanın inceleme konusu salgı değişkeni olarak belirlenmiştir.



Şekil 1 Mühimmata Ait Kalite Değişkenlerinin Tanımları

Çalışma, 1500 mermilik bir partinin üretimi için gerçekleştirilmiştir. Parti miktarı büyük olmakla birlikte siparişin kısa sürede teslim edilmesi gerektiğinden üretim “küçük partili üretim” olarak değerlendirilmektedir, çünkü kısa üretim süresi yeterli sayıda rasyonel altgrup oluşturmaya izin vermemektedir.

Firmada yapılmış bir istatistiksel çalışma mevcut olmadığından pres operasyonu açısından önemli ve kontrol altına alınması gereken kalite değişkenlerine ait üretim verilerini kaydetmek amacıyla “pres operasyonu kontrol formu” tasarlanmıştır. Bu formun örneği Ek 1’de verilmiştir. Pres işleminin günlük üretim hızının

300 adet olduğu göz önünde bulundurularak 10 adetlik altgrupların oluşturulması tasarlanmıştır. Bir hafta boyunca Salı gününden başlamak üzere her gün 9:30-15:30 arasında her saat başında 10 gözlem alınmıştır. Gözlem alınamayan günler ve saatler, nedenleriyle birlikte veri formlarında belirtilmiştir. Örneğin, pazartesi günü indüksiyon cihazındaki arıza nedeniyle veri alınmamıştır. Veri formları ile toplanan verilerin bir özeti ise Ek-2'de verilmektedir.

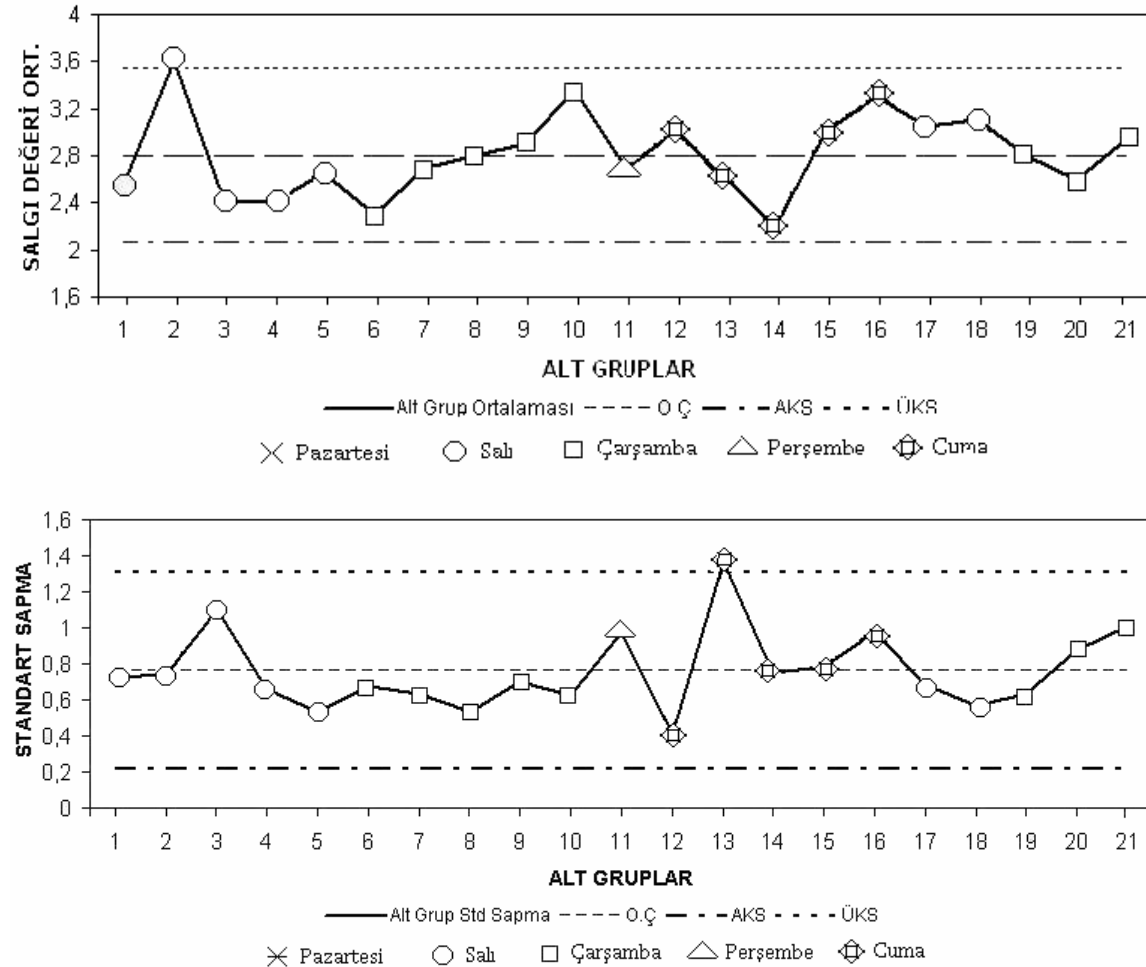
Veriler toplanırken tabakalandırma yöntemi kullanılmıştır. Her gözlem değeri için gün, saat, operatör bilgileri kaydedilmiştir. Bu şekilde hata kaynaklarının belirlenmesi kolaylaşmaktadır.

4. PRES SALGI DEĞİŞKENİNİN ANALİZİ

Veriler, Ek-2'de görüleceği gibi her biri 10 gözlem içeren 21 altgrup oluşturacak şekilde toplanmıştır. Ardından verilerin geriye dönük analizi yapılarak hem geleneksel çizelgelerle hem de istatistiksel hipotez testleriyle hata kaynaklarına işaret edecek kontrol dışı durumların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çizelgeler ve testler birbirlerini tamamlayıcı şekilde kullanılmıştır.

4.1 \bar{X} ve S Çizelgeleri

Geleneksel çizelgelerde altgrup ortalamaları ya da standart sapmaları birer noktayla işaretlenir. Çizelgelerin bir özelliği görsel olmaları nedeniyle kontrol dışı durumları kolaylıkla ele vermeleridir. Bu çizelgelerin daha etkin kullanımı için diğer görsel öğelerden de yararlanılabilir: Uygulamada çizelgeler, tabakalandırma sonuçlarından yararlanılarak saat, gün ve operatör bazında çizilmiştir. \bar{X} çizelgelerinde ortalama ne kadar düşerse kalite o kadar yüksektir (idealde salgının sıfır değerinde olması istenir).

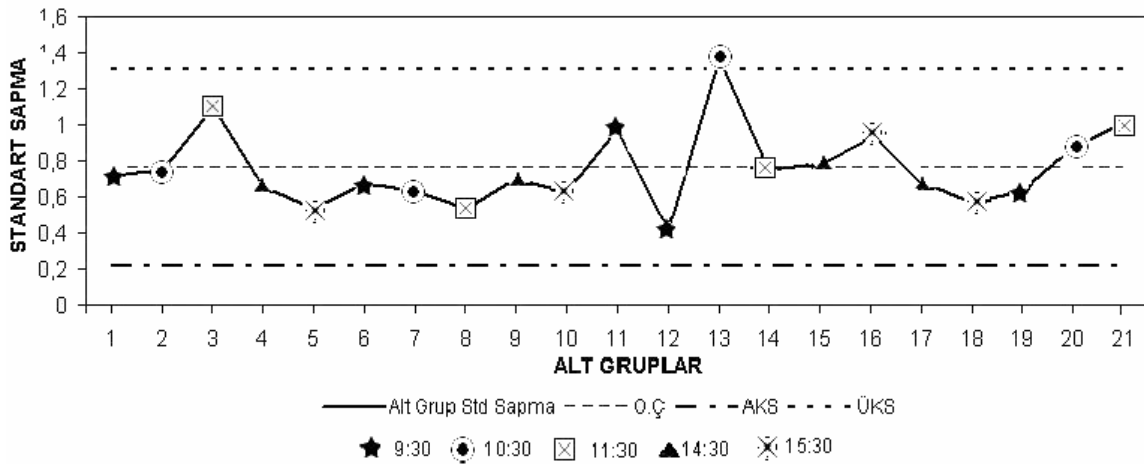
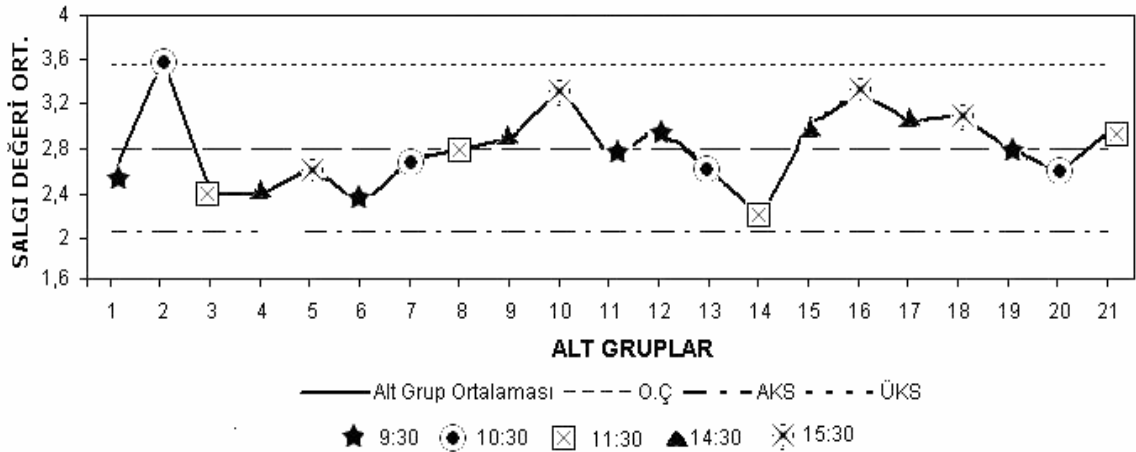


Şekil 2 (a),(b) Gün Bazında \bar{X} ve S Çizelgeleri

Şekil 2’de gün bazında çizelgeler verilmiştir. \bar{X} çizelgesi incelendiğinde noktaların, normal dağılımın izin vermeyeceği kadar orta çizgiden (OÇ) uzak bir yapı sergilediği dikkat çekmektedir: Bu da verilerin iki ya da daha fazla dağılım takip ettiği anlamına gelebilir. Dolayısıyla süreçte iki ya da daha fazla hata kaynağının aynı anda etkin olduğu söylenebilir. Noktaların normal dağılım dışında bir dağılım takip etmesi de mümkündür, ancak bu düşük bir olasılıktır. Hoyer ve Ellis’ in [3] merkezi limit teoreminden yola çıkarak yaptığı benzetim çalışmalarına göre, bir altgruptaki gözlem sayısı 10’a ulaştığında pek çok normal-dışı dağılım için altgrup ortalamasının normal dağıldığı varsayılabilir (İPK uygulamaları açısından normale yeterince yaklaşmıştır).

Çizelgede 2. noktanın üst kontrol sınırının (ÜKS) dışında ve 14. noktanın alt kontrol sınırına (AKS) çok yakın olduğu gözlenmektedir. Bu çizelge kontrol sınırlarının yanı sıra gözlem değerlerinin günlere göre dağılımını da göstermektedir. Bu bağlamda Çarşamba günü ortalamada giderek artan bir eğilim dikkat çekmektedir.

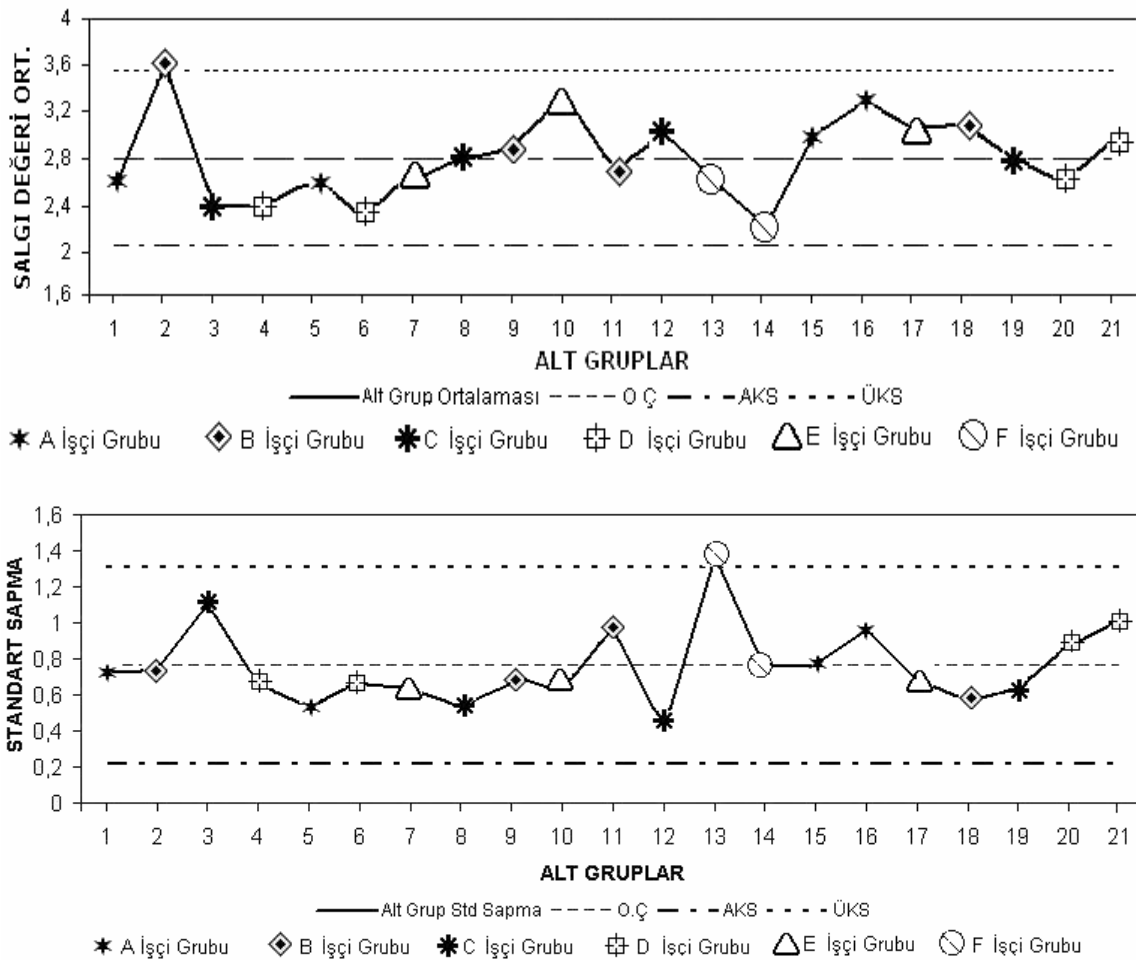
S çizelgesi incelendiğinde 3. altgrupta ani bir yükseliş gözlenmektedir. Veri formları incelendiğinde 3. alt grubun alındığı saatlik üretim sırasında delme ara vidasının değiştirildiği belirlenmiştir. Delme vidasının değişimi farklı zamanlarda yapıldığında değişim gözlenmezken burada değişimin gözlenmesi delme vidası değişimi ile ilgili farklı bir etkinin varlığını düşündürmektedir. Ayrıca 11-14. noktalardaki dalgalanma dikkat çekmektedir; veri formları incelendiğinde 11. alt grubun başında kalıp arızası olduğu belirlenmektedir. 12-14. noktalardaki dalgalanma da kalıp arızası ile ilişkilendirilebilir: 14. nokta \bar{X} çizelgesinde kontrol sınırına yakın, 13. nokta S çizelgesinde kontrol sınırının dışındadır. 4-10. noktalar OÇ’nin altında yer almaktadır ve dalgalanma azdır. Gün bazında inceleme yapıldığında Cuma gününde dalgalanmalar fazlayken Çarşamba gününde çok az olduğu dikkat çekmektedir. Bunun nedeni araştırıldığında Cuma günündeki dalgalanmanın Perşembe günü meydana gelen kalıp arızasından kaynaklandığı saptanmıştır.



Şekil 3 (a), (b) Saat Bazında \bar{X} ve S Çizelgeleri

Şekil 3a'da saat bazında çizelgeler verilmiştir. Şekil 2'dekine benzer şekilde gözlemlerin alındığı her saat başı farklı bir simge ile ifade edilmiştir. Bu da bize noktaların takibinde kolaylık sağlamaktadır. Örneğin, \bar{X} çizelgesinde sırasıyla 9:30'da ve 14:30'da alınan noktaları ifade eden \star ve \blacktriangle simgelerinin tüm çizelge boyunca davranışları incelendiğinde OÇ'ye yakın seyrettikleri görülmektedir. Ayrıca \blacktriangle simgelerinde hafif artan bir eğilim dikkat çekmektedir. Benzer şekilde diğer simgeler incelendiğinde; 10:30'da alınan noktalar arasında birincinin ÜKS dışında, diğerlerinin OÇ'ye yakın olduğu; 11:30'da alınan noktalarda dalgalanmanın fazla olduğu, ayrıca üçüncü noktanın alt sınıra çok yaklaştığı gözlenmektedir.

Şekil 3b'de verilen saat bazında S çizelgesi incelendiğinde 11-14. noktalarda dalgalanma mevcutken 14:30'da alınan noktalar OÇ'ye oldukça yakındır. Ayrıca 9:30'da alınan noktalardan dördüncüsü alt sınıra yakınken 10:30'da alınan noktalardan üçüncüsü ani bir artışla ÜKS dışına çıkmıştır. Bunun kalıp arızasından kaynaklandığı veri formlarından belirlenmiştir.



Şekil 4 (a), (b) Operatör Bazında \bar{X} ve S Çizelgeleri

Şekil 4a ve 4b operatör bazında \bar{X} ve S çizelgelerini göstermektedir. \bar{X} çizelgesine bakıldığında F işçi grubuna ait noktaların ortalamasının altında seyrettiği, A ve D işçi gruplarına ait noktaların artan bir eğilim gösterdiği, B işçi grubuna ait noktalarinsa OÇ etrafında dalgalandığı ancak bu noktaların ilkinin ÜKS'nin dışında olduğu görülmektedir.

S çizelgesinde F işçi grubuna ait noktalardan ilkinin ani bir artışla ÜKS dışına çıktığı, C işçi grubuna ait üçüncü noktanın AKS'ye yaklaştığı ve D işçi grubuna ait noktaların artan bir eğilime sahip olduğu görülmektedir.

Çalışmada görüleceği gibi veriler toplanırken gerekli açıklamaların not edilmesi kontrol dışı durumların ya da dalgalanmaların nedenlerinin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca verilerin tabakalandırma yöntemi ile toplanması noktaların farklı açılardan incelenmesine imkan sağlamaktadır. Burada hataların çeşitli arızalardan kaynaklandığı belirlenmiş olsa da farklı süreçlerde hatalar saat ya da günden (hatta farklı tabakalandırmalar da yapılabilir) kaynaklanabilir. Bu da gerekli önlemleri almamız açısından yarar sağlayacaktır. Örneğin şekil 3b'de kontrol dışı olan 13. noktanın saat 10:30'da gerçekleştiği görülmüştü. Eğer 10:30'da alınan noktalar sürekli ÜKS'ye yakın olma eğilimi gösterse, bu saate bağlı bir hata kaynağı aranacaktı. Dolayısıyla çizelgelerin tabakalandırma analizinden yararlanarak oluşturulmasının böyle olası durumların belirlenmesinde yardımcı olacağı açıktır.

4.2. Pres Salgı Değerlerinin Ortalama ve Standart Sapması için Hipotez Testleri

Gözlem sonucu elde edilen 210 verinin ortalaması ve standart sapması operatör, saat ve gün bazında incelendi. Kullanılan tüm hipotez testleri için birinci tip hata düzeyi $\alpha = 0.01$ olarak belirlendi. Öncelikle operatör bazında gözlemlerin varyansları arasında fark olup olmadığı test edildi. Bunun için varyansların eşitliği her ikili operatör grubu için F testi [14] ile sınıandı (A-B sınaması, A-C sınaması gibi) ve hiçbir ikili grup için varyansların farklı olduğuna dair anlamlı delil bulunamadı. Ardından gözlemlerin ortalamalarının eşitliği hipotezi Varyans Analizi (ANOVA) [2] ile test edildi. Öncelikle operatörler (A, B, C, D, E, F) ANOVA'da 6 faktör düzeyi olarak alındı ve ($\mu_A=\mu_B=\mu_C=\mu_D=\mu_E=\mu_F$) hipotezi reddedildi. Buna bağlı olarak operatörlerin ortalamaları t testi [2] ile ikili olarak karşılaştırıldı: B-D, B-F ve E-F işçi gruplarının ortalamalarının eşitliğine ilişkin hipotezler ($\mu_B=\mu_D$, $\mu_B=\mu_F$ ve $\mu_E=\mu_F$) reddedilirken diğer ikili ortalama eşitliği hipotezlerini reddetmek için anlamlı delil bulunamadı. Ardından D ve F işçi grupları ortalamalarının B ve E işçi grupları ortalamalarından düşük olduğu gözlenerek D ve F işçi grupları gözlemleri kendi arasında, diğer işçi grupları gözlemleri (A, B, C, E) kendi arasında birleştirildi ve yapılan t testi sonucu D ve F ortak grubu ortalamasının diğer ortak grup ortalamasından düşük olduğuna dair anlamlı delil gözlemlendi. Ek-3'de operatör bazında yapılan ANOVA ve hipotez testleri verilmiştir.

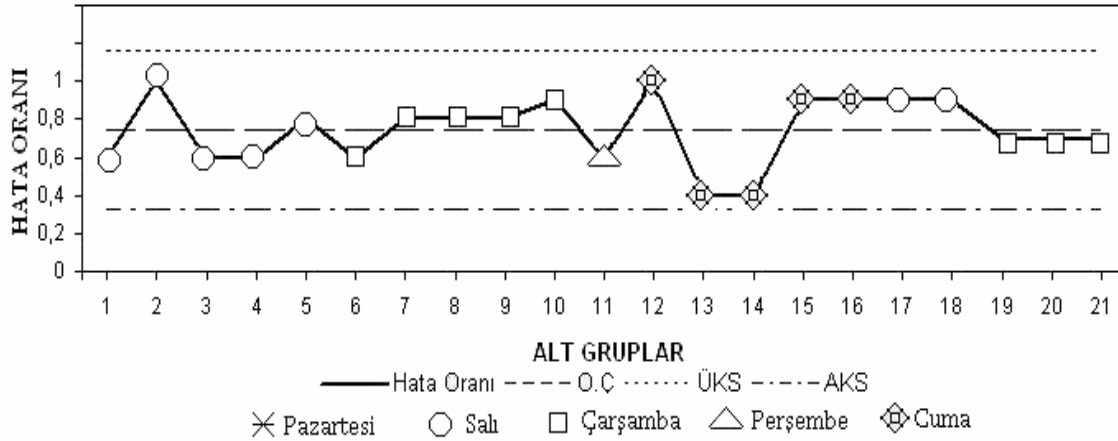
Benzer testler gün ve saat bazında yapıldı. Gün ve saat bazında gözlemlerin varyansları arasında fark olup olmadığı test edildi. Varyansların eşitliği her ikili grup için F testi ile sınıandığında ikili gruplarda varyansların farklı olduğuna dair anlamlı bir delil bulunamadı. Daha sonra gözlemlerin ortalamalarının eşitliği hipotezi Varyans Analizi (ANOVA) ile test edildiğinde gözlemlerin ortalamalarının farklı olduğuna ilişkin anlamlı bir delil bulunamadığından ikili olarak karşılaştırmalar yapılmadı.

İstatistiksel hipotez testleriyle varyanslar arasında fark olmadığının belirlenmesi, ikili gruplar (gün, saat, operatör bazlarında) içerisinde varyans artırıcı bir etki olmadığı sonucuna götürmektedir. Ayrıca çizelgelerin de işaret ettiği gibi D ve F işçi gruplarının daha kaliteli üretim yaptıkları istatistiksel olarak ispatlandı.

4.3. Hata Oranı (p) Çizelgeleri

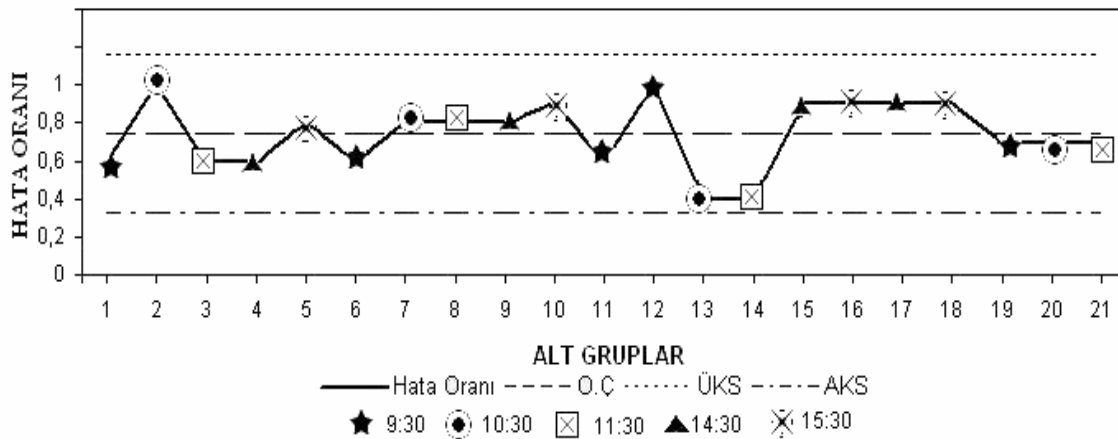
\bar{X} ve S çizelgelerinin kullanıldığı İPK uygulamalarında genellikle hata oranları için ayrıca çizelge oluşturulmaz. Ancak ele alınan süreçte 2 mm'nin üzerinde salgı değerleri gözlemlendiğinde ürün hatalı kabul edilmekte, salgı değeri 5 mm'yi aşmadığı sürece tekrar işlenebilmektedir; bu ise üretim maliyetini arttırmaktadır. \bar{X} ve S çizelgeleri altgruplar arası değişimleri gösterirken altgrup içi hata oranlarını gizlerler. Bu nedenle hata oranlarının davranışını da izleyebilmek için p çizelgeleri oluşturulmuştur. Hata oranları hesaplanırken her altgrup için hatalı ürün sayısı altgrup büyüklüğüne (her altgrup 10 gözlemden oluşmaktadır) oranlanmaktadır. Örneğin, birinci altgrupta 6 gözlemden hatalı ürün olduğundan hata oranı 0,6 (6/10) olarak hesaplanmaktadır.

\bar{X} ve S çizelgelerinde olduğu gibi altgrup hata oranları çizelge üzerine işaretlenirken tabakalandırma analizi sonuçlarından yararlanılmıştır.



Şekil 5 Gün Bazında p Çizelgesi

Şekil 5'te tüm noktaların kontrol sınırları içerisinde yer aldığı ve herhangi bir eğilim olmadığı gözlenirken gün bazında incelendiğinde Çarşamba gününe ait noktaların hata oranlarının orta çizgiye çok yakın ve durağanken, diğer günlerde ise dalgalanmalar gözlenmektedir. Ayrıca Şekil 2'de görülen salgı değişkenindeki düşüş eğilimi Şekil 5'e 13 ve 14. noktalara düşüş olarak yansımaktadır. Bu düşüş kalıp arızasıyla ilgili düzeltici faaliyetin bir sonucu olabilir.

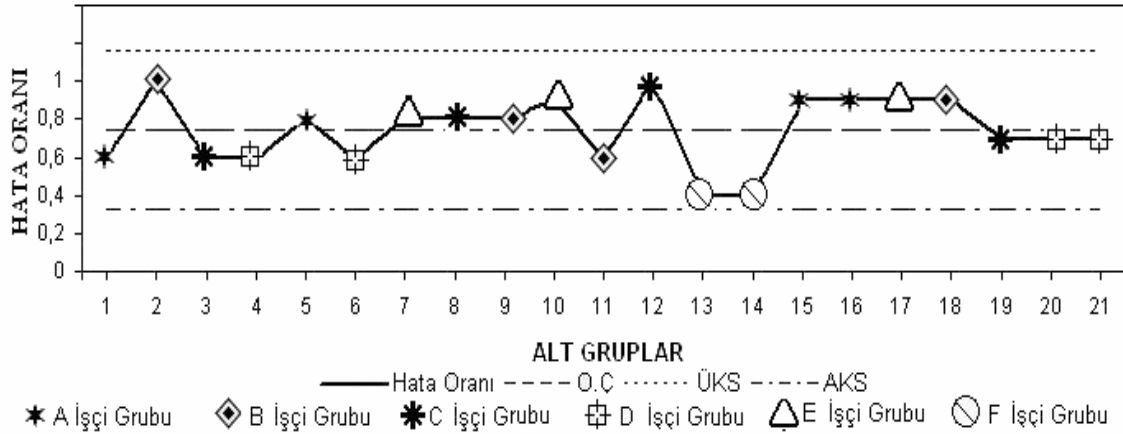


Şekil 6 Saat Bazında p Çizelgesi

Şekil 6'da yer alan saat bazında çizelgede noktalar genelde orta çizgi etrafında dalgalanmaktadır. Ayrıca belli saatlerde artma ya da azalma gibi belirgin bir saat etkisi gözlenmemektedir.

Şekil 7'deki çizelgede F işçi grubunun hata oranının düşük olduğu, çizelge boyunca A ve B işçi gruplarının artan bir eğilime sahip olduğu, D işçi grubunun ise orta çizgiye yaklaştığı gözlenmektedir.

Genel olarak çizelgede süreç kontrol altında görünmekle birlikte hata oranları oldukça yüksektir; diğer bir deyişle süreç yetersizdir. Ayrıca veriler için altgrup ortalamaları spesifikasyon sınırına yakın çıksa da p çizelgelerinde hata oranlarının yüksek olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 7 Operatör Bazında p Çizelgesi

4.4. Pres Salgı Değerlerinin Hata Oranları için Hipotez Testleri

Verilere ait hata oranlarının eşitliği ($p_1=p_2=p_3=p_4=p_5=p_6$) hipotezi, bu hipoteze özel geliştirilmiş bir Ki-kare testi ile analiz edilmiştir [14].

Hata oranlarının eşitliği operatör bazında incelendiğinde $p_A=p_B=p_C=p_D=p_E=p_F$ hipotezi reddedildi. Bu durumda operatör bazında noktaların hata oranlarının eşitliği ikili gruplar halinde Z-testi ile karşılaştırıldığında [2], A-F, B-F, C-F ve E-F işçi gruplarında $p_A>p_F$, $p_B>p_F$, $p_C>p_F$ ve $p_E>p_F$ olduğuna dair anlamlı delil bulundu; $p_D=p_F$ hipotezi ise reddedilemedi. Ek-3'de operatör bazında yapılan hipotez testleri verilmiştir.

Pres salgı değerlerinin ortalamaları için yapılan hipotez testlerinde D ve F işçi gruplarının ortalamalarının A, B, C ve E işçi gruplarından düşük olduğu gösterilirken buradaki hipotez testlerinde sadece F'nin hata oranının A, B, C ve E işçi gruplarınınkinden düşük olduğu gözlenmektedir; D'nin hata oranının düşüklüğü için delil mevcut değildir. Bu tutarsızlığın nedeni, genel olarak ortalamalar için hipotez testlerinin hata oranları için yapılan hipotez testlerinden daha hassas olmasıdır.

Benzer testler gün ve saat bazında yapıldığında hata oranlarının eşitliği hipotezi reddedildiğinden ikili karşılaştırmalara gerek duyulmadı.

5. SONUÇ

Çalışmada, küçük partili İPK çizelgeleri mühimmat üreten bir fabrikada uygulanmıştır. Uygulamada bir mühimmata ait üretim süreci incelenmiştir. Süreç verileri hazırlanan özel bir form kullanılarak toplanmıştır. Veriler toplanırken, farklı açılardan inceleyebilmek amacıyla tabakalandırma yöntemi kullanılmıştır.

Veri analizinde, öncelikle veriler çizelgeler kullanılarak analiz edildi. Ayrıca tabakalandırma yöntemiyle elde edilen saat, operatör ve gün faktörlerinin de analizini kolaylaştırmak için çeşitli görsel simgeler kullanıldı. Çizelgelerde saat ve gün bazında baskın bir özellik göze çarpmamakla birlikte operatörler arasında farklılık gözlemlendi.

\bar{X} ve S çizelgeleri incelendiğinde kontrol dışı durumlar ve dalgalanmalar görülmektedir. Hazırlanan veri formları ile bunların nedenleri rahatlıkla bulunmaktadır. Örneğin 11-14 noktadaki dalgalanma 11. altgrupun başında meydana gelen kalıp arızasından; üçüncü noktadaki ani yükseliş de delme vidası değişiminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca operatör bazında D ve F ortalamalarının diğer işçi gruplarınınkinden düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde p-çizelgelerinde süreçte saat ve gün bazında belirgin bir etki görülmemekte ancak operatör bazında F işçi grubunun hata oranının diğer işçi gruplarınınkinden düşük olduğu gözlenmektedir.

İkinci aşamada veriler istatistiksel hipotez testlerinden yararlanılarak incelendi. İstatistiksel analizde gün ve saat bazında farklılık olmadığı ancak operatörler arasında farklılık olduğu sonucuna varıldı ve D ve F işçi gruplarının ortalamasının düşük olduğu görüldü. Benzer şekilde, hata oranı için yapılan testler de p çizelgesinde varılan sonuçlar desteklendi.

Küçük partili üretimlerde İPK çizelgeleriyle geriye dönük analizler gerçekleştirilmektedir. Böylece testler ve çizelgelerden elde edilen veriler kullanılarak benzer süreçler için yapılması gereken düzeltici faaliyetler belirlenmektedir. Örneğin, benzer pres sürecinde salgı değişkeni için operatörün kaliteyi etkileyen bir faktör olduğu açıktır. Ayrıca süreçte hata oranlarının fazla olduğu (üretim maliyetini arttırmaktadır) dikkate alınırsa benzer süreçte iyileştirme yapılması zorunludur.

Burada yapılan çalışmanın sonuçları fabrika yönetimine sunulmuştur. Benzer çalışma diğer kalite değişkenleri için yapılabileceği gibi farklı süreçler için de yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Koçer, B., Birgören, B., "İstatistiksel Proses Kontrol Çizelgelerinde Hata Teşhisine Yönelik Yaklaşımlar", **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 17(4), pp. 59-69, 2004.
2. Montgomery, D.C., "Introduction to Statistical Quality Control", 4th ed., **Wiley & Sons**, New York, 2001.
3. Hoyer, R. W., Ellis, W. C., "A Graphical Exploration of SPC", **Quality Progress**, pp. 65-73, 1996.
4. Wise, S., Fair, D., "The Control Chart Dilemma", **Quality Progress**, February, pp. 66-71, 1998.
5. Lin, S., Lai Y., Chang, S.I., "Short-Run Statistical Process Control: Multicriteria Part Family Formation", **Quality and Reliability Engineering International**, 13, pp. 9-24, 1997.
6. Riberio, M.M., Cabral, J.A.S., "The Use and Misuse of Statistical Tools", **Journal of Materials Processing Technology**, pp. 288-292, 1999.
7. Quesenberry, C.P. "SPC Q Charts for Start-Up Processes and Short or Long Runs", **Journal of Quality Technology**, 23, pp. 213-224, 1991.
8. Quesenberry, C.P. "SPC Q Charts for Binomial Parameter p: Short or Long Runs", **Journal of Quality Technology**, 23, pp. 239-246, 1991.
9. Quesenberry, C.P. "SPC Q Charts for Poisson Parameter λ : Short or Long Runs", **Journal of Quality Technology**, 23, pp. 296-303, 1991.
10. Quesenberry, C.P. "On Properties of Q Charts for Variables", **Journal of Quality Technology**, 27, pp. 184-203, 1995.
11. Quesenberry, C.P. "On Properties of Binomial Q Charts for Attributes", **Journal of Quality Technology**, 27, pp. 204-213, 1995.
12. Quesenberry, C.P. "Geometric Q Charts for High Quality Processes", **Journal of Quality Technology**, 27, pp. 304-315, 1995.
13. Del Castillo, E. "A Review of Statistical Process Control Techniques for Short Run Manufacturing Systems", **Communications in Statistics - Theory and Methods**, 25(11), pp. 2723-2737, 1996.
14. Scheaffer, R.L., McClave, J.T., "Probability and Statistics for Engineers", 3rd ed., **PWS-Kent**, Boston, pp. 340-342, 1994.

EK 1: PRES OPERASYONU KONTROL FORMU

KALİTE DEĞİŞKENİ:	SALGI DİP BOY	OLÇME ŞEKLİ:		ŞARJ NO:														
		OLÇÜM APARATLARI	APARATLARI															
OPERATOR GRUBU: A-B-C-D-E-F																		
TARİH	SAAT	GRUP NO	OPER.*	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X ORT	R	TOP HS.	ACIKLAMALAR	
28.01	9:30	1	A	3	2.5	2	3	1.5	2	3	4	2	2.5	2.55	2.5	6	8:30'da zımba değişti	
	10:30	2	B	3	3	3.5	4	4	4	5	4	2.5	3	3.6	2.5	10	10:20'de zımba değişti	
	11:30	3	C	3	2	2	2.5	3	4	1.5	3	3	0	2.4	4	6	10:53'de de line ara vıdası değişti	
	14:30	4	D	2	2.5	2.5	2.5	3.5	1.5	2	3	3	1.5	2.4	2	6		
29.01	15:30	5	A	3	2	2.5	3.5	3.5	2.5	2.5	2	2.5	2.5	2.65	1.5	6	14:55'de zımba değişti	
	9:30	6	D	1	2.5	2	3	3	2	2.5	3	2.5	1.5	2.3	2	6	9:15'de zımba değişti	
	10:30	7	E	2.5	3	3	3	3.5	1.5	2.5	3.5	2.5	2	2.7	2	8		
	11:30	8	C	3	3.5	3.5	3	2	2.5	3	3	2.5	2	2.8	1.5	8	11:15'de zımba değişti	
	14:30	9	B	3	3	2	3	2.5	4	2.5	4	3	2	2.9	2	8	13:30-45'de inrüksiyon cihazı bozuldu	

*Operatörlerin gerçek adlar verilmemiştir.

Her grubu temsilen tek operatör adı kaydedilmiştir.

+: toerans üstü, -: tolerans altı, V:uygun

EK 2: SALGI DEĞİŞKENİNE AİT DEĞERLER

Alt Grup	Gözlem Değerleri*	Ort.	Std. Sapma	Operatör	Gün	Saat	Hata Oranı**
1	3; 2,5; 2; 3; 1,5; 2; 3; 4; 2; 2,5	2,55	0,724	A	SALI	09:30	0,60
2	3; 3; 3,5; 4; 4; 4; 5; 4; 2,5; 3	3,60	0,737	B	SALI	10:30	1,00
3	3; 2; 2; 2,5; 3; 4; 1,5; 3; 3; 0	2,40	1,100	C	SALI	11:30	0,60
4	2; 2,5; 2,5; 2,5; 3,5; 1,5; 2; 3; 3; 1,5	2,40	0,658	D	SALI	14:30	0,60
5	3; 2; 2,5; 3,5; 3,5; 2,5; 2,5; 2; 2,5; 2,5	2,65	0,529	A	SALI	15:30	0,80
6	1; 2,5; 2; 3; 3; 2; 2,5; 3; 2,5; 1,5	2,30	0,674	D	ÇRŞ.	09:30	0,60
7	2,5; 3; 3; 3; 3,5; 1,5; 2,5; 3,5; 2,5; 2	2,70	0,632	E	ÇRŞ.	10:30	0,80
8	3; 3,5; 3,5; 3; 2; 2,5; 3; 3; 2,5; 2	2,80	0,537	C	ÇRŞ.	11:30	0,80
9	3; 3; 2; 3; 2,5; 4; 2,5; 4; 3; 2	2,90	0,699	B	ÇRŞ.	14:30	0,80
10	4; 4; 3; 4; 2; 3,5; 3,5; 3; 3; 3,5	3,35	0,625	E	ÇRŞ.	15:30	0,90
11	2; 4; 2; 2; 4; 3,5; 1; 3; 3; 2,5	2,70	0,977	B	PRŞ.	09:30	0,60
12	3; 3; 3; 3; 2,5; 3; 3; 2,5; 4; 3	3,00	0,408	C	CUMA	09:30	1,00
13	2; 5; 1,5; 2; 1; 5; 2,5; 2; 2; 3	2,60	1,370	F	CUMA	10:30	0,40
14	3; 2; 2; 1; 1,5; 3; 3; 3; 2; 1,5	2,20	0,752	F	CUMA	11:30	0,40
15	3,5; 3; 1; 3; 3,5; 4; 3; 3; 3; 3	3,00	0,781	A	CUMA	14:30	0,90
16	4; 1,5; 3; 4; 3; 3; 3; 5; 4; 2,5	3,30	0,977	A	CUMA	15:30	0,90
17	2,5; 3; 3,5; 3; 4; 4; 3,5; 2,5; 2,5; 2	3,05	0,685	E	SALI	14:30	0,90
18	2; 3,5; 3; 3,5; 3; 2,5; 3; 3,5; 4; 3	3,10	0,657	B	SALI	15:30	0,90
19	2; 2,5; 3,5; 3; 3; 3,5; 2; 3,5; 3; 2	2,80	0,632	C	ÇRŞ.	09:30	0,70
20	2,5; 2,5; 2,5; 1,5; 4,5; 2; 3; 1,5; 3; 3	2,60	0,875	D	ÇRŞ.	10:30	0,70
21	1; 2; 3; 3; 4; 4; 2; 3; 4; 3,5	2,95	1,012	D	ÇRŞ.	11:30	0,70

* Her alt grupta 10 gözlem vardır.

** 2,00 üzerindeki salgi değerleri hatalı kabul edilmektedir.

EK 3: HİPOTEZ TESTLERİ

Bu ekte sadece operatörlere ait hipotez testlerine yer verilmiştir. Gün ve saatlere ait testler benzer şekilde yapıldığında burada yer almamaktadır.

Verilerin operatör bazında sınıflandırılması

i (işçi)	A	B	C	D	E	F
n_i (sayı)	40	40	40	40	30	20
Y_i (hatasız sayısı)	8	7	9	14	4	12
\bar{X}_i (ortalama)	2,875	3,075	2,75	2,5625	3,033	2,4
S_i (ör. std. sapması)	0,7986	0,8050	0,7250	0,8257	0,6814	1,0954
S_i^2 (örnek varyansı)	0,6378	0,6480	0,5256	0,6818	0,4643	1,2

Operatör bazında varyansların ikili karşılaştırması

i ve j operatörleri için Hipotezler: $H_0: \sigma_i = \sigma_j$ $H_a: \sigma_i \neq \sigma_j$, $i, j = A, \dots, F$, $i \neq j$

Test istatistiği $F = S_i^2 / S_j^2$, n_i-1 ve n_j-1 serbestlik dereceli F dağılımı takip eder.

Kritik değerler: $F_{üst} = F(n_i - 1, n_j - 1; \alpha / 2)$ $F_{alt} = F(n_i - 1, n_j - 1; 1 - \alpha / 2)$

$F_{alt} < F < F_{üst}$ ise H_0 Kabul edilir, aksi takdirde reddedilir.

Operatör	F	F _{üst}	F _{alt}	Karar*
A	0,9841	2,321	0,431	H ₀ kabul
B				
A	1,2134	2,321	0,431	H ₀ kabul
C				
A	0,9353	2,321	0,431	H ₀ kabul
D				
A	1,3735	2,565	0,411	H ₀ kabul
E				
A	0,5315	3,114	0,378	H ₀ kabul
F				
B	1,2329	2,321	0,431	H ₀ kabul
C				
B	0,9504	2,321	0,431	H ₀ kabul
D				
B	1,3956	2,565	0,411	H ₀ kabul
E				
B	0,5400	3,114	0,378	H ₀ kabul
F				

* $\alpha=0,01$ alınmıştır.

Operatör	F	F _{üst}	F _{alt}	Karar*
C	0,7708	2,321	0,431	H ₀ kabul
D				
C	1,1319	2,565	0,411	H ₀ kabul
E				
C	0,4380	3,114	0,378	H ₀ kabul
F				
D	1,4684	2,565	0,411	H ₀ kabul
E				
D	0,5682	3,114	0,378	H ₀ kabul
F				
E	0,3869	3,221	0,347	H ₀ kabul
F				

Operatör bazında ortalamaların ANOVA ile karşılaştırması

Tüm operatörler için Hipotez H₀: $\mu_A = \mu_B = \dots = \mu_F$

Değişkenlik Kaynağı	s.d.*	S.S*	M.S.*	F*	P*
Operatör	5	10,429	2,086	3,19	0,009
Hata	204	133,510	0,654		
Toplam	209	143,939			

$P < \alpha = 0.01$ olduğundan H₀ reddedildi.

*s.d. = serbestlik derecesi

S.S. = kareler toplamı

M.S. = ortalama kareler

F = Gerçekleşen F değişken değeri

P = F değerine karşılık gelen kuyruk olasılığı

Operatör bazında ortalamaların ikili karşılaştırması

i ve j operatörleri için Hipotezler: H₀: $\mu_i = \mu_j$ H_a: $\mu_i > \mu_j$, i, j = A, ..., F, i < j

$$S_p^2 = \frac{(n_i - 1)S_i^2 + (n_j - 1)S_j^2}{n_i + n_j - 2} \text{ olmak üzere test istatistiği, } t = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j - (\mu_i - \mu_j)}{S_p \sqrt{1/n_i + 1/n_j}}, n_i + n_j - 2 \text{ serbestlik dereceli } t$$

dağılımı takip eder.

Kritik değer: $t_{üst} = t(n_i + n_j - 2; 1 - \alpha)$

$t < t_{üst}$ ise H₀ kabul edilir, aksi takdirde reddedilir.

Operatör	t	t _{üst}	Karar*
A	-1,115	2,375	H ₀ kabul
B			
A	0,733	2,375	H ₀ kabul
C			
A	1,720	2,375	H ₀ kabul
D			
A	-0,873	2,382	H ₀ kabul
E			
A	1,9131	2,392	H ₀ kabul
F			
B	1,898	2,375	H ₀ kabul
C			
B	2,801	2,375	H ₀ red
D			
B	0,229	2,382	H ₀ kabul
E			
B	2,707	2,392	H ₀ red
F			

Operatör	t	t _{üst}	Karar*
C	1,079	2,375	H ₀ kabul
D			
C	-1,659	2,382	H ₀ kabul
E			
C	1,479	2,392	H ₀ kabul
F			
D	-2,539	2,382	H ₀ kabul
E			
D	0,643	2,392	H ₀ kabul
F			
E	2,524	2,407	H ₀ red
F			

* $\alpha=0,01$ alınmıştır.

Operatör bazında hata oranlarının eşitliğine ilişkin analiz

Tüm operatörler için Hipotez $H_0: p_A = p_B = L = p_F$

$Y_i = i$ operatörüne ait hatasız ürün sayısı, $Y =$ toplam hatasız ürün sayısı, $n = \sum n_i$, $i = A, \dots, F$,

$\hat{E}(Y_i) = n_i \left(\frac{Y}{n} \right)$ ve $\hat{E}(n_i - Y_i) = n_i \left(1 - \frac{Y}{n} \right)$ olmak üzere test istatistiği,

$$\chi^2 = \sum_{i=A}^F \left\{ \frac{[Y_i - \hat{E}(Y_i)]^2}{\hat{E}(Y_i)} + \frac{[(n_i - Y_i) - \hat{E}(n_i - Y_i)]^2}{\hat{E}(n_i - Y_i)} \right\}, k-1 \text{ serbestlik dereceli } \chi^2 \text{ dağılımı takip eder.}$$

Kritik değer: $\chi_{üst}^2 = \chi^2(k-1; \alpha)$

$\chi^2 < \chi_{üst}^2$ ise H_0 kabul edilir, aksi takdirde reddedilir.

$\chi^2 = 18,1565 > \chi_{üst}^2 = 15,0863$ olduğundan H_0 hipotezi reddedildi ($\alpha=0,01$ alınmıştır).

Operatör bazında hata oranlarının ikili karşılaştırması

i ve j operatörleri için Hipotezler: $H_0: p_i = p_j$ $H_a: p_i > p_j$ $i, j = A, \dots, F, i < j$

$Y_i = i$ operatörüne ait hatasız ürün sayısı olmak üzere test istatistiği

$$Z = \frac{(n_i - Y_i)/n_i - (n_j - Y_j)/n_j}{\sqrt{\frac{n_i - Y_i}{n_i} \left(\frac{Y_i}{n_i} \right) \frac{1}{n_i} + \frac{n_j - Y_j}{n_j} \left(\frac{Y_j}{n_j} \right) \frac{1}{n_j}}} \text{ normal dağılım takip eder.}$$

Kritik değer: $Z_{üst} = Z(1 - \alpha)$

$Z < Z_{üst}$ ise H_0 kabul edilir, aksi takdirde reddedilir.

Operatör	Z	Z _{üst}	Karar*
A	-0,287	2,326	H ₀ kabul
B			
A	0,273	2,326	H ₀ kabul
C			
A	1,524	2,326	H ₀ kabul
D			
A	-0,745	2,326	H ₀ kabul
E			
A	3,162	2,326	H ₀ red
F			
B	0,342	2,326	H ₀ kabul
C			
B	1,161	2,326	H ₀ kabul
D			
B	-0,284	2,326	H ₀ kabul
E			
B	2,495	2,326	H ₀ red
F			

* $\alpha=0,01$ alınmıştır.

Operatör	Z	Z _{üst}	Karar*
C	1,247	2,326	H ₀ kabul
D			
C	-1,005	2,326	H ₀ kabul
E			
C	2,932	2,326	H ₀ red
F			
D	-2,213	2,326	H ₀ kabul
E			
D	1,879	2,326	H ₀ kabul
F			
E	3,710	2,326	H ₀ red
F			