

İstatistiksel Süreç Kontrolü Prensiplerini Kullanarak Bir Kestirimci Bakım Bilgi Sisteminin Geliştirilmesi

Mehmet Ali ILGIN^{1*}, Doğa SÖYLER², Kamil SÖZEN²

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

²Litum Bilgi Teknolojileri A.Ş., İzmir, Türkiye

mehmetali.ilgin@cbu.edu.tr, doga.soyler@litum.com.tr, kamil.sozen@litum.com.tr

(Geliş/Received: 12.01.2015; Kabul/Accepted: 22.02.2016)

DOI: 10.17671/btd.16630

Özet—İstatistiksel süreç kontrol teknikleri bir üretim sürecinin belirlenen limitler içinde üretim yapıp yapmadığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniklerin üretimi gerçekleştiren makinelerden alınan sıcaklık, basınç gibi muayene değerlerinin analizinde kullanımı ise az rastlanan bir uygulamadır. Bu çalışmada, kalite kontrol grafiklerini ve süreç yeterlilik indeksini makinelerden alınan ölçümlerin analizinde kullanan bir kestirimci bakım bilgi sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, bir makineden alınan muayene değerlerinin sisteme girişi anında yapılabilen ve bu değerlerle oluşturulan kalite kontrol grafiğinde bir örüntü tespit edilmesi durumunda uyarı mesajı verilmektedir. Geliştirilen sistem, bir paketleme fabrikasında uygulanmış ve plansız makine duruşlarından kaynaklanan maliyetlerde önemli bir düşme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler— İstatistiksel süreç kontrolü, kalite kontrol grafikleri, kestirimci bakım, bilgi sistemi

Development of a Predictive Maintenance Information System Using Statistical Process Control Principles

Abstract— Statistical process control techniques are frequently used to determine whether a production process takes places within the specified limits. The use of these techniques for the analysis of inspection data (temperature, pressure etc.), which is taken from the production machines, is a rare application. In this study, a predictive maintenance information system employing quality control charts and process capability index for the analysis of machine inspection data has been developed. In this system, the inspection values taken from a machine can be entered into the system instantaneously and a warning message comes out, if a pattern is detected in the control chart constructed with those values. The developed system has been implemented in a packaging factory and a significant reduction in the costs associated with unplanned machine stoppages have been achieved.

Keywords— Statistical process control, quality control charts, predictive maintenance, information system

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Endüstriyel tesislerin güvenilirliği ve üretim için kullanılabilir durumda olmaları, modern üretim ve hizmet firmalarının rekabet gücünü etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle, pek çok firma makinelerine uygulanan bakım faaliyetlerini etkin bir şekilde planlayarak yüksek

güvenilirlik ve kullanılabilirlik seviyelerine ulaşmaya çalışmaktadır.

Bir makinede uygulanabilecek üç temel bakım çeşidi bulunmaktadır. Bunlar içinde en yaygın kullanılanı, makinenin bozulduğu zaman tamir edilmesi olarak tanımlanabilecek arıza bakımındır. Arıza bakımdan sonra en

sık kullanılan bakım yöntemi önleyici bakımdır. Bu bakım çeşidinde makineler periyodik olarak durdurulmakta ve önceden belirlenmiş noktalarda bakım faaliyetleri yapılmaktadır. Bu iki bakım çeşidine göre daha az kullanılan kestirimci bakımda ise makinelerden alınan titreşim, sıcaklık gibi ölçüm değerleri çeşitli yöntemlerle analiz edilmekte ve analiz sonuçlarına göre bakım faaliyetleri planlanmaktadır.

Kestirimci bakımın az kullanılmasının temel sebebi, makinelerden alınan ölçümlerin analizinde ve analiz sonuçlarının yorumlanmasında karşılaşılan sorunlardır. Bu sorunları gidermek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle yapay sinir ağları, simülasyon, yapay zeka gibi popüler karar destek araçları kullanılmıştır [1-3].

Bir süreci sürekli denetlemede ve süreçteki değişkenliği kontrol altına almada kullanılan çeşitli teknikleri kapsayan istatistiksel süreç kontrolünün kestirimci bakım için alınan verilerin analizinde kullanımı ise literatürde çok fazla çalışmanın olmadığı bir alandır. Var olan çalışmaların büyük çoğunluğu da teorik yönü ağır basan ve bir bilgi sisteminin geliştirilmesini kapsamayan çalışmalardır. Mehrafrooz ve Noorossana ortalama için kontrol grafiğini kullanarak bakım ihtiyaçlarını belirleyen matematiksel bir model geliştirmiştir [4]. Model, üretim sürecinde tek bir makinenin olduğunu ve makine arızaları arası sürenin sabit bir arıza oranı ile üstel dağıldığını varsaymaktadır. Khoo ve Xie üstel grafik olarak da bilinen olaylar arası geçen süre kontrol grafiğini kullanarak tek bir komponent için kullanılabilir bir kestirimci bakım modeli önermiştir [5]. Bergquist ve Söderholm demiryolu raylarının kestirimci bakım faaliyetlerinde "tek değerler için" ve "Z tipi" kontrol grafiklerinin kullanımını esas alan bir çalışma gerçekleştirmiştir [6]. Liu vd. iki üniteli seri bir üretim sisteminin bakım faaliyetlerinde kullanılabilir bir kontrol grafiği önermiş ve bu grafiğin optimum parametrelerini belirlemiştir [7].

Literatürde istatistiksel kalite kontrolü ile kestirimci bakımın entegre edilmesi için bir bilgi sisteminin geliştirilmesini hedefleyen çalışmalar da mevcuttur. Bu konuda gerçekleştirilen bir çalışmada, gemi motoruna ilişkin sıcaklık değerlerinin istatistiksel süreç kontrolü tekniklerinden biri olan kalite kontrol grafikleri ile analizi üzerine Visual Basic programlama dili kullanılarak bir bilgi sistemi geliştirilmiştir [8]. Geliştirilen bu sistemin uygulanabilirliğini olumsuz yönde etkileyen iki husus bulunmaktadır. İlk olarak, makineden alınan ölçüm değerinin operatör tarafından anında sisteme girilmesi için bir çözüm önerilmemiştir. Ayrıca, önerilen sistem sadece kalite kontrol grafiklerinin üst ve alt kontrol limitlerinin dışına düşen bir nokta varsa uyarı vermektedir. Diğer bir deyişle, kalite kontrol grafiğinde ölçüm değerlerinin oluşturabileceği örüntüler dikkate alınmamıştır.

Bu çalışmada, istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden biri olan kalite kontrol grafiklerini ve süreç yeterlilik indeksini makinelerden alınan ölçümlerin analizinde

kullanan bir kestirimci bakım bilgi sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bilgi sistemi, operatörün makineden aldığı herhangi bir ölçüm değerini anında sisteme girmesini sağlamak ve aynı zamanda oluşturulan kalite kontrol grafiğinde ölçüm değerlerinin bir örüntü oluşturması durumunda uyarı vermektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, kalite kontrol grafikleri ve süreç yeterlilik indeksi konularında temel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde geliştirilen kestirimci bakım bilgi sisteminin çalışma prensibi bir paketleme fabrikasında yapılan uygulamadan faydalanarak açıklanmıştır.

Son bölümde, genel değerlendirmelere ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin görüşlere yer verilmiştir.

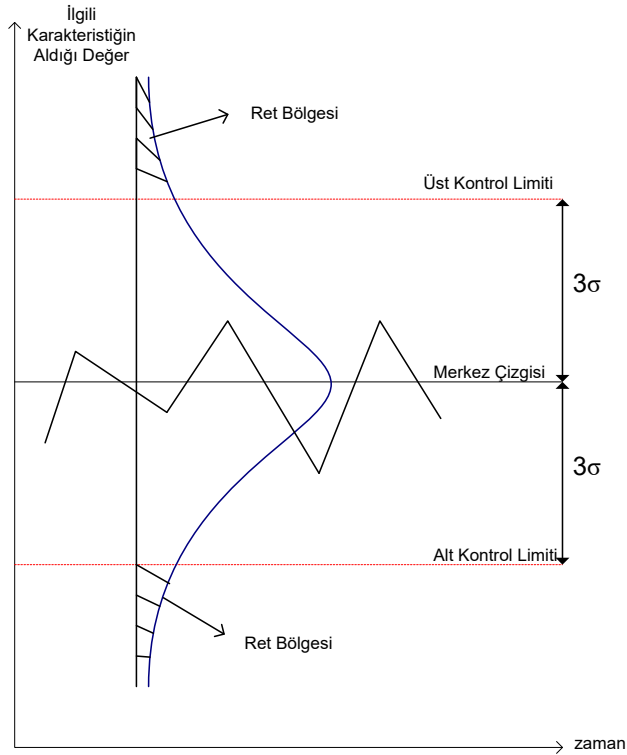
2. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROLÜ (STATISTICAL PROCESS CONTROL)

İstatistiksel süreç kontrolü, bir sürecin müşterilerin beklentilerini karşılayıp karşılamadığının istatistiksel teknikler kullanılarak analiz edilmesidir. Bu bölümde, çalışmada kullanılan istatistiksel süreç kontrol teknikleri olan kalite kontrol grafikleri ve süreç yeterlilik indeksi açıklanmaktadır.

2.1. Kalite Kontrol Grafikleri (Quality Control Charts)

Kalite kontrol grafikleri, bir süreçte meydana gelen değişimleri ve bu değişimlerin nedenlerini analiz etmede kullanılan istatistiksel araçlardır. Eğer değişimler doğal nedenlerden kaynaklanıyorsa sürecin kontrol altında olduğu sonucuna varılır. Doğal olmayan nedenlerin tespit edilmesidurumunda ise sürecin kontrol altına alınması için gerekli önlemler alınır. Alınan önlemlerin süreç üzerindeki etkisi de kalite kontrol grafikleri kullanılarak kontrol edilir.

Kalite kontrol grafiklerinin temelini normal dağılım oluşturmaktadır. Herhangi bir serideki birimlerin tekrarlanma sayıları normal dağılım eğrisinin altında kalan alan içerisinde yer alır. Eğer tekrarlanma sayıları dağılımının standart sapması hesaplanır ve eğrinin altında kalan alan merkez çizgisine yani aritmetik ortalamaya göre 1 standart sapmalık aralıklara bölünürse, $\pm\sigma$ aralığında birimlerin %68,27'si, $\pm 2\sigma$ aralığında birimlerin %95.45'i ve $\pm 3\sigma$ aralığında birimlerin %99.73'ü bulunacaktır. Diğer bir deyişle, herhangi bir birimin 6σ genişlikteki bir alanın dışında bulunma olasılığı 0.0027 olacaktır. Bu bilgiler ışığında, merkez çizgisine göre 3'er standart sapmalık mesafeler alınır ve buralardan birer limit çizgisi (Üst Kontrol Limiti ve Alt Kontrol Limiti) geçirilirse kontrol grafiği elde edilmiş olur [13]. Normal dağılımla kalite kontrol grafikleri arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kalite kontrol grafiklerinin genel yapısı
(General structure of quality control charts)

Üretim süreçlerinin kontrolü için çeşitli kalite kontrol grafikleri (Aritmetik ortalama grafiği, açıklığa dayalı kontrol grafiği, standart sapma grafiği vb.) geliştirilmiştir. Bu grafikler, süreçten aynı anda birden fazla ürün alınarak alt grupların oluşturulması prensibine dayanır. Oluşturulan alt grupların ortalama ve standart sapmaları hesaplanarak grafikler oluşturulur. Bu yaklaşım makinelerden alınan sıcaklık ve basınç değerleri için uygun değildir. Çünkü bir makinenin herhangi bir noktasında herhangi bir anda tek bir sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Bu nedenle alt grupların oluşturulması mümkün olmamaktadır. Wadsworth'unda belirttiği gibi sıcaklık, basınç gibi değerler için kalite kontrol grafiği oluşturulmasında en uygun grafik tipi X grafiği olarak da adlandırılan tek değerler için kontrol grafiğidir [10].

Tek değerler için kontrol grafiği çiziminde hareketli açıklık kavramı önemli rol oynamaktadır. Hareketli açıklık, birbirini izleyen iki ölçüm değerinden, büyük olanını küçük olandan çıkarmak suretiyle bulunur. Bu şekilde bulunan hareketli açıklık değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak ortalama hareketli açıklık belirlenir. Ölçüm değerlerinin ortalaması ve ortalama hareketli açıklık kullanılarak, grafiğe ilişkin üst ve alt kontrol limitleri aşağıdaki formüller kullanılarak bulunur.

$$UKL_x = \bar{X} + 3\bar{R} / d_2 = \bar{X} + E_2\bar{R} \quad (1)$$

$$LKL_x = \bar{X} - 3\bar{R} / d_2 = \bar{X} - E_2\bar{R} \quad (2)$$

Bu formüllerde yer aland₂ ve E₂ sabitlerinin değerleri hareketli açıklık hesabında kullanılan veri sayısına göre değişir. Genelde hareketli açıklık hesabında iki veri kullanıldığı için E₂ sabitinin değeri 2.66 olarak alınır ve aşağıdaki formüller elde edilir.

$$UKL_x = \bar{X} + 2.66\bar{R} \quad (3)$$

$$LKL_x = \bar{X} - 2.66\bar{R} \quad (4)$$

Kalite kontrol grafiklerindeki doğal olmayan örüntülerin tespit edilebilmesi için bir dizi kural geliştirilmiştir. Bu kurallar merkez çizgisinin veya kontrol limitlerinin etrafında yer alan noktaların oranını gösteren olasılık hesaplamaları esas alınarak belirlenmiştir. Literatürde en sık kullanılan kurallar Tablo 1'de özetlenmiştir. Kural tanımlamalarında geçen bölgeler Şekil 2'de gösterilmiştir. Her bir örüntü tipinin ilişkili olduğu kural veya kurallar Tablo 2'de verilmiştir [11].

Tablo 1. Literatürde en sık kullanılan örüntü belirleme kuralları

(The most frequently used pattern recognition rules in literature)

No	Kural
1	A bölgesi üzerinde (3 sigmadan fazla) bir ya da daha fazla ölçüm değerinin bulunması.
2	Ardışık 3 ölçüm değerinden 2'sinin A bölgesinde ya da daha ötesinde bulunması.
3	Ardışık 5 ölçüm değerinden 4'ünün B bölgesinde ya da daha ötesinde bulunması.
4	Ardışık 8 ölçüm değerinin ortalama çizgisinin bir tarafında (C bölgesinde ya da ötesinde) bulunması.
5	Ardışık 6 ölçüm değerinin sürekli yükselmesi ya da düşmesi.
6	Ardışık 15 ölçüm değerinin C bölgesinde bulunması.
7	Ardışık 14 ölçüm değerinin ardı ardına yukarı ve aşağı değerler alması.
8	Ardışık 8 ölçüm değerinin hiçbirinin C bölgesinde bulunmaması.

	ÜKL		
A			
B			
C	%68,27	%95,45	%99,73
C			MÇ
B			
A			AKL

Şekil 2. Kalite kontrol grafiklerindeki bölgeler
(Zones in quality control charts)

Tablo 2. Örüntüler ve ilişkili oldukları kurallar
(Patterns and associated rules)

Örüntü (Pattern)	İlişkili Olduğu Kural
Büyük Değişim	1,2
Daha Küçük Sürekli Değişim	3,4
Eğilim	5,3
Toplanma	6
Karışım	8
Sistemantik Varyasyon	7

2.2. Süreç Yeterlilik İndeksi (Process Capability Index)

Kalite kontrol grafiklerindeki limitler, tasarım spesifikasyonlarına göre değil örneklem ortalaması ve değişkenliği göz önüne alınarak belirlenir. Bu nedenle kalite kontrol grafiklerine göre kontrol altında olan bir süreç, tasarım spesifikasyonları içinde üretim yapmıyor olabilir. Bu gibi durumlarda, bir sürecin bir hizmet veya ürün için tasarım spesifikasyonlarını karşılama yeteneği olarak ifade edilen “süreç yeterliliği” kavramını kullanmak gerekmektedir[12].

Süreç yeterlilik oranı (C_p) ve süreç yeterlilik indeksi (C_{pk}), süreç yeterliliğini belirlemede en sık kullanılan iki ölçüttür. Süreç yeterlilik oranı, üst spesifikasyon limiti (USL) ve alt spesifikasyon limiti (ASL) belirlenmiş bir süreç için aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunmaktadır:

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (5)$$

Süreç yeterlilik oranı 1’den küçükse sürecin yeterli olmadığı sonucuna varılır. Uygulamada C_p değerinin en az 1.33 olması tercih edilmektedir.

Formülünden de anlaşılacağı gibi C_p , spesifikasyon genişliği ile altı sigma ile ifade edilen gerçek süreç genişliğinin basit bir karşılaştırmasıdır. Diğer bir deyişle, bu ölçüt, sürecin merkezlenmesi ile ilgilenmemektedir [13]. Bu eksikliği gidermek için süreç yeterlilik indeksi (C_{pk}) geliştirilmiştir. C_{pk} hesaplamalarında kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

$$C_{pk} = \min \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \right) \quad (6)$$

C_{pk} , süreç ortalamasının üst ve alt spesifikasyon limitlerinden en az üç standart sapma uzaklıkta olup olmadığını kontrol ederek, sürecin ne derecede iyi merkezlendiğini belirlemektedir. Yukarıdaki formüldeki iki orandan en küçük olanı en kötü durumu temsil ettiği için C_{pk} değeri olarak alınmaktadır [12].

C_{pk} değeri her zaman C_p değerine eşit veya daha küçük olup, C_{pk} değerinin 1 veya daha fazla çıkması sürecin

spesifikasyonlara uygun olarak çalıştığını göstermektedir [14].

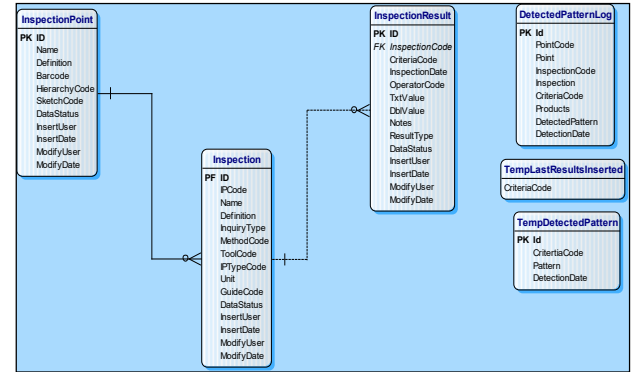
3. KESTİRİMCİ BAKIM BİLGİ SİSTEMİ (PREDICTIVE MAINTENANCE INFORMATION SYSTEM)

Bu bölümde, geliştirilen kestirimci bakım bilgi sisteminin çalışmamekanizması hakkında bilgi verilmektedir. Sistem, paketleme sektöründe faaliyet gösteren bir firmada uygulandığı için, bu firmaya özgü bazı veriler de bu bölümde sunulmaktadır.

3.1. Ölçüm Bilgilerinin Sisteme Girilmesi

Bir muayene noktasında yapılan gözlemin sonucu sistemde tanımlı muayene sonuç tablosuna kaydedilir. Bu tablo her muayene noktası için muayene sonuçlarını tutar. Şekil 3’de muayene sonuçlarının kaydedildiği veritabanının genel yapısı gösterilmiştir.

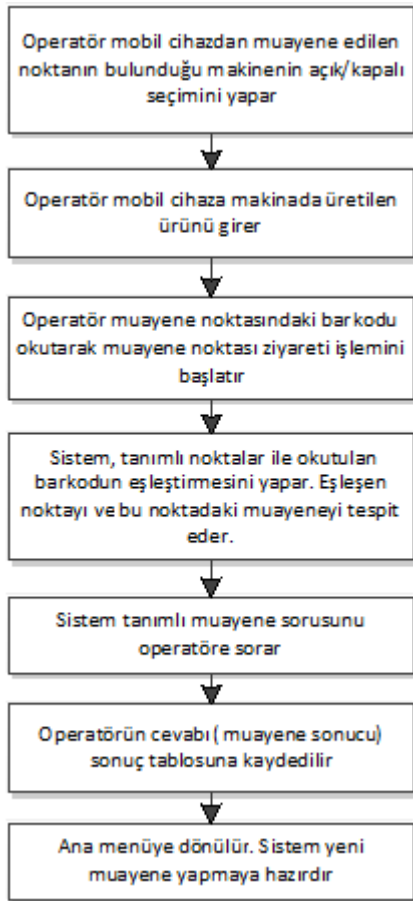
Muayene işleminin yapılmakta olduğu makinenin üretmekte olduğu ürün tipine ya da gözlemin makine çalışır ya da atıl durumda yapılmasına göre süreç yeterlilik indeksinin hesabında kullanılan üst ve alt spesifikasyon limitleri değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, sistemde her muayene tanımının makine durumu ve ürün karması bilgisinden oluşan bir veya birden fazla kriter tanımı ve bu kriter(ler)e göre değişen spesifikasyon tanımları vardır. Bir muayene yapıldığında bu kriter bilgisi göz önünde bulundurulduğundan ilgili kriteri tanımlayan “kriter kodu” (CriteriaCode) verisi de sonuç tablosuna kaydedilir. Bu nedenle hesaplamalar yapılırken alınan sonuç kümeleri “kriter kodu” kırılımına göre süzülür.



Şekil 3. Muayene sonuçlarının kaydedildiği veritabanında tablolar arası ilişkiler

(Relationships among tables in inspection results database)

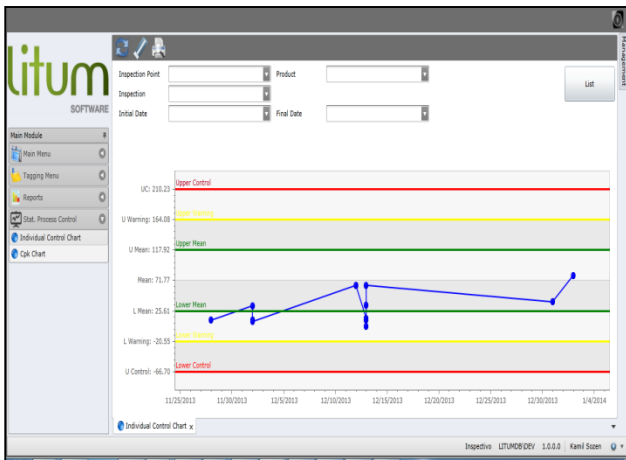
Operatör tarafından bir noktada muayene yapıldığında, ilgili muayenenin sonucu, muayenenin kriter bilgileriyle birlikte muayene sonuç tablosuna kaydedilir. İlgili işlemin akış şeması Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Muayene sonuçlarının veritabanına aktarımını gösteren akış şeması
(Flow chart for the transfer of inspection results to the database)

3.2. Kontrol Grafiklerinin Çizilmesi

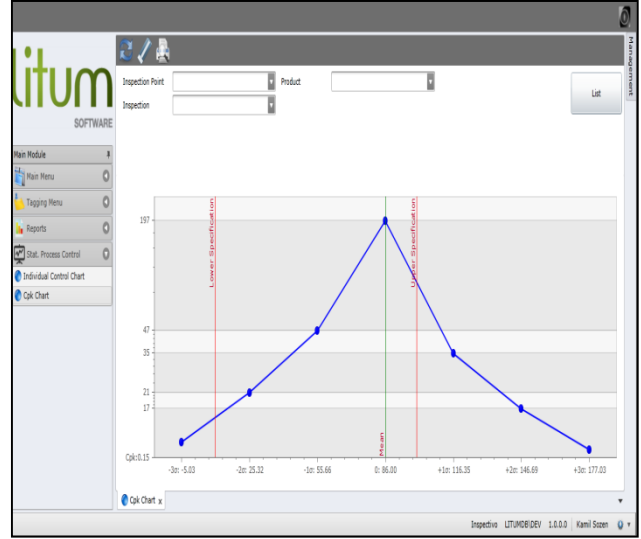
Muayene sonuç tablosundaki veriler kullanılarak, ikinci bölümde verilen formüller yardımıyla her bir muayene noktası için bir kalite kontrol grafiği oluşturulur. Örnek bir grafik Şekil 5’de sunulmuştur.



Şekil 5. Örnek bir kalite kontrol grafiği
(An example of a quality chart)

3.3. Süreç Yeterlilik İndeksinin Hesaplanması

Muayene sonuç tablosundaki veriler kullanılarak ikinci bölümde verilen formüller yardımıyla her bir muayene noktası için süreç yeterlilik indeksi hesaplanır. Ayrıca, Şekil 6’da görüldüğü gibi alt ve üst spesifikasyon limitlerinin ve ortalamanın gösterildiği bir grafik oluşturulur.



Şekil 6. Süreç yeterlilik indeksinin grafiksel gösterimi
(Graphical representation of process capability index)

Daha önce belirtildiği gibi, muayene yapılmakta olan makinenin üretmekte olduğu ürün tipi, üst ve alt spesifikasyon limitlerini ve dolayısıyla süreç yeterlilik indeksi hesabını etkileyecektir. Bu nedenle sistem, süreç yeterlilik hesabını yaparken makineden ölçüm alındığında hangi ürünün üretilmekte olduğu bilgisini dikkate almakta ve uygun spesifikasyon limitlerini kullanmaktadır. Örneğin, daha kalın kartondan üretilen süt kutularının kesilmekte olduğu makinede sıcaklık muayenesi yapıldığında süreç yeterlilik indeksi Tablo 3’deki aralıklara göre oluşturulurken, daha ince olan meyve suyu kutusu üretimi için Tablo 4’deki aralıklara göre değerlendirme yapılacaktır.

Tablo 3. Süt kutusu üretimi için sıcaklık spesifikasyon limitleri

(Temperature specification limits for milk box production)

Limit Tanımları	Limit Değerleri
Üst Limit	120 °C
Alt Limit	30 °C

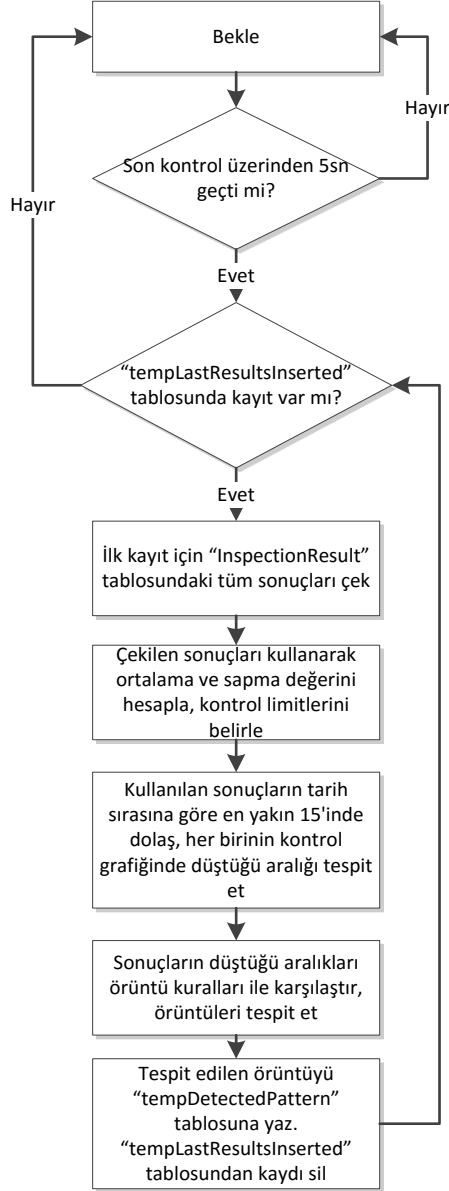
Tablo 4. Meyve suyu kutusu üretimi için sıcaklık spesifikasyon limitleri
(Temperature specification limits for fruit juice box production)

Limit Tanımları	Limit Değerleri
Üst Limit	80 °C
Alt Limit	5 °C

3.4. Örüntülerin Bulunması ve Uyarı Verilmesi

Tablo 1’de tanımlanan kurallar en fazla 15 ölçüm değerini göz önüne aldığı için, sonuç kümesindeki son 15 kayıt içinde dolaşılır ve her ölçüm değerinin kalite kontrol

grafığının hangi bölgesine düştüğü tespit edilir. Bu sonuçların düştüğü bölgeler Tablo 1’de verilen kurallara göre gruplanarak toplanır ve herhangi bir kuralla uyum gösteriyorsa “tempDetectedPattern” tablosuna yazılır. Bir sonuç kümesi için bu işlem yapıldıktan sonra, ilgili kümeyi ilgilendiren “kriter kodu” kaydı “tempLastResultsInserted” tablosundan silinir. Bu servisin çalışma prensibini açıklayan akış şeması Şekil 7’de verilmiştir.



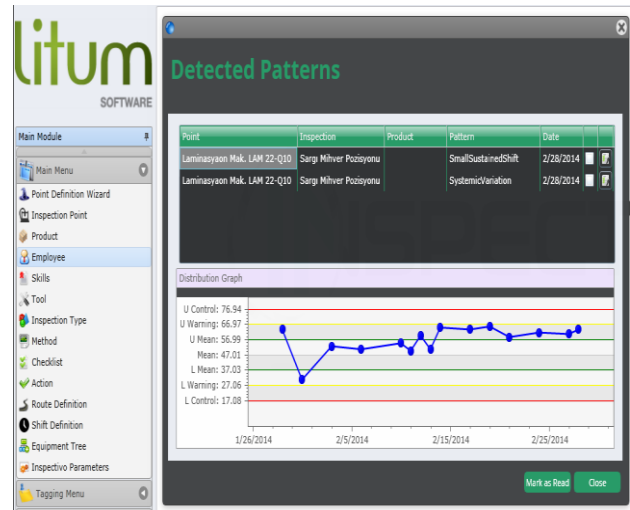
Şekil 7. Örüntü tanıma sürecine ilişkin akış şeması
(Flow chart of pattern recognition process)

Silverlight istemcisi her 40 saniyede bir web servisleri aracılığıyla “tempDetectedPattern” tablosunda kayıt olup olmadığını kontrol eder. Kayıt tespit edildiği takdirde Şekil 8’deki uyarı mesajını yayınlar. Kullanıcı bu mesajı görerek içeriğini açtığında Şekil 9’daki örüntüleri gösteren ekran açılır. Kullanıcı artık hatırlatılmasına gerek duymadığı örüntüleri işaretlediğinde ilgili örüntü kaydı “tempDetectedPattern” tablosundan silinerek

“DetectedPatternLog” tablosuna kaydedilir. Böylece tespit edilmiş örüntüler raporlanabilir. Hatırlatılmasına gerek duyulmayıp arşivlenen bir örüntü, gün değişiminden sonra tekrar tespit edilirse uyarı mesajı tekrar alınır, kullanıcı ilgili örüntünün hatırlatılmasına gerek duymuyorsa tekrar ilgili örüntüyü arşivler. Süreç bu şekilde devam eder. Bu servisin çalışma prensibini açıklayan akış şeması Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 8. Yeni bir örüntünün tespit edildiğini bildiren uyarı mesajı
(Warning message indicating the detection of a new pattern)



Şekil 9. Tespit edilen örüntüleri gösteren ekran
(The screen showing the detected patterns)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION & CONCLUSIONS)

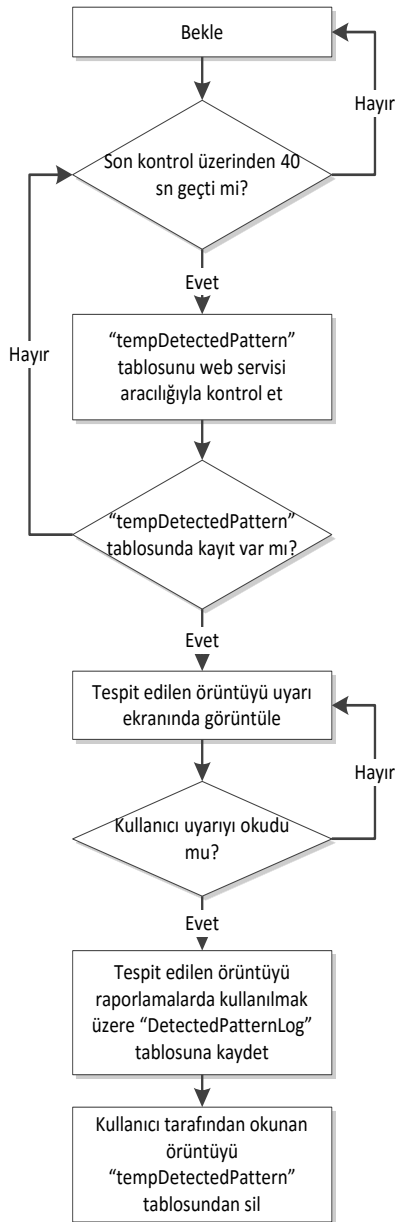
Bir önceki bölümde çalışma mekanizması açıklanan kestirimci bakım bilgi sistemi, 2014 yılı boyunca gerek bilgisayar ortamında türetilen verilerle ve gerekse de paketleme fabrikasındaki pilot makineden alınan verilerle test edilmiştir. Bu testlerde sistemin 8 örüntü tipini (bkz. Tablo 1) de yüzde yüz başarı ile tespit edebildiği görülmüştür. Bunun üzerine firma 2015 yılında sistemi bütün makinelerde uygulamıştır.

Firma yetkilileri ile yapılan görüşmelerde sistemin uygulamaya konulduğu 2015 yılında, 2014 yılına göre plansız makine duruşlarından kaynaklanan maliyetlerde yaklaşık %15 düşme olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, bu maliyet düşüşü göz önüne alınarak sistemin kendini yaklaşık 2 yılda amorti edeceği öngörülmektedir.

Geliştirilen sistem literatürde en sık kullanılan sekiz kuralı (bkz. Tablo 1) göz önüne alarak örüntü tanıma ve uyarı mesajı vermektedir. Ayrıca, operatöre makineden

aldığı bir ölçüm değerini anında sisteme girme imkanı sağlamaktadır. Sistem, bu özellikleriyle literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır.

Yukarıda sayılan olumlu özelliklerine ve uygulamadaki başarısına karşın, sistem üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler bulunmaktadır. Bunlar içinde en önemlisi, tespit edilen bir örüntünün yansıttığı problemin makinenin hangi parçasından kaynaklanabileceği bilgisinin sistem kullanıcılarına sunulmasıdır. Bu eksikliği gidermek için, yazarlar, örüntü tanıma yanında operatöre öncelikle makinenin hangi parça veya parçalarını kontrol etmesi gerektiği bilgisini de sunan bir bilgi sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışmaktadırlar.



Şekil 10. Örüntü uyarılarının yönetilmesi sürecine ilişkin akış şeması

(Flow chart of pattern warnings management process)

5. TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, 7130272 proje kodu ile TÜBİTAK-TEYDEB tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D. Bansal, D.J. Evans, B. Jones, "A real-time predictive maintenance system for machine systems", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44 (7-8), 759-766, 2004.
- [2] L. R. Contreras, C. Modi, A. Pennathur, "Integrating Simulation Modeling and Equipment Condition Diagnostics for Predictive Maintenance Strategies-A Case Study", **Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference**, San Diego, CA, USA, 1289-1296, 8-11 Aralık, 2002.
- [3] M. C. Garcia, M. A. Sanz-Bobi, J. del Pico, "SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance Application to the health condition monitoring of a wind turbine gearbox", *Computers in Industry*, 57 (6), 552-568, 2006.
- [4] Z. Mehrafruz, R. Noorossana, An integrated model based on statistical process control and maintenance, *Computers & Industrial Engineering*, 61, 1245-1255, 2011.
- [5] B. Bergquist, P. Söderholm, Data Analysis for Condition-Based Railway Infrastructure Maintenance, *Quality and Reliability Engineering International*, 31, 773-781, 2015.
- [6] M. B. C. Khoo, M. Xie, A Study of Time-between-Events Control Chart for the Monitoring of Regularly Maintained Systems, *Quality and Reliability Engineering International*, 25, 805-819, 2009.
- [7] Liping Liu, Miaomiao Yu, Yizhong Ma, Yiliu Tu, Economic and economic-statistical designs of an X control chart for two-unit series systems with condition-based maintenance, *European Journal of Operational Research*, 226, 491-499, 2013.
- [8] J.A. Orosa, A.M. Costa, R. Santos, "Research about New Predictive-Maintenance Methodology using VBA for Marine Engineering Applications", **Applications and Experiences of Quality Control**, Bölüm 21, Editör: Ivanov, O., Intech, Rijeka, Croatia, 2011.
- [9] D. Aslan, **Kalite Kontrol**, DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, 2001.
- [10] H. M. Wadsworth, "Statistical Process Control", **Juran's Quality Handbook**, Editörler: Juran, J.M. ve Godfrey, A.B., New York, 1999.
- [11] D. Noskievicova, "Complex Control Chart Interpretation", *International Journal of Engineering Business Management*, 5(13), 1-7, 2013.
- [12] L.J. Krajewski, L.P. Ritzman, M.K. Malhotra, **Operations Management**, Prentice Hall, New Jersey, 2009.
- [13] C. Kahraman, İ. Kaya, "Süreç Doğruluk İndeksi ve Bulanık Karar Ortamında Kullanılması", *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2 (2), 148-156, 2009.
- [14] D.H. Besterfield, C. Besterfield-Michna, G.H. Besterfield, M. Besterfield-Sacre, **Total Quality Management**, Prentice-Hall, New Jersey, 2003.