



Makale / Research Paper

Bulanık İstatistiksel Proses Kontrol Tekniği ile 19x39x19 cm Bims Hafif Yapı Malzemesi Üretiminin Analizi

Kader KAPLAN GÖZTOK¹, Metin UÇURUM², Akın ÖZDEMİR^{*2}

¹Bayburt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 69000 Bayburt/TÜRKİYE

²Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 69000 Bayburt/TÜRKİYE
akinozdemir@baybut.edu.tr

Received/Geliş: 13.07.2019

Accepted/Kabul: 09.10.2019

Öz: İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), üretim çıktılarının ürün özelliklerini belirlenen kalite aralıklarında yapılmasını kontrol eden, sağlayan ve standart dışı üretimin önüne geçmede mühendislerin kullandığı en önemli matematik esaslı bir araçtır. Ancak konvansiyonel İPK yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda bulanık küme teorisinden yararlanılan daha hassas istatistiksel proses kontrolüne imkân veren bulanık istatistiksel proses kontrol yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu makalede, bir Bims fabrikası ürünü olan 19x39x19 cm Bims ürününün üretim sürecin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesinde bulanık istatistiksel proses kontrol tekniklerinden yararlanılarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Hafif yapı malzemesi; bims; kalite kontrol; bulanık istatistiksel proses kontrol.

Analysis of 19x39x19 cm Pumice Brick Material Production with Fuzzy Statistical Process Control Technique

Abstract: Statistical Process Control (SPC) is the most important a math-based tool used by engineers to control non-standard production and to ensure that production outputs are performed at specified quality ranges. However, in cases where conventional SPC is inadequate, fuzzy statistical process control approaches have been developed which enable more precise statistical process control using fuzzy set theory. In this paper, fuzzy statistical process control techniques have been used to determine whether a 19x39x19 cm pumice brick, which is a product of a pumice brick factory, with fuzzy observation values is under control of the production process.

Keywords: Lightweight construction material; pumice brick; quality control; fuzzy statistical process control.

1. Giriş

Pomza terimi farklı dillerde farklı isimler altında anılmaktadır. Örneğin Fransızcada ‘Ponce’ olarak geçerken, İngilizcede orta tanelilere ‘Pumice’, ince taneli olanlara da ‘Pumicite’ ismi verilmektedir. Almanca dilinde daha farklı olarak iri taneli malzemelere ‘Bimstein’, küçük taneli ürünlere ‘Bims’ denilmektedir. Türkçede ise özellikle piyasada ve halk dilinde çok farklı isimler kullanılmakta olup bunlardan bazıları ‘süngertaşı’, ‘nasır taşı’, ‘topuk taşı’, ‘haşırtısı’, ‘kısır’dır. Pomza, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmiş, fiziksel ve kimyasal parametrelere karşı dayanımı yüksek, gözeneklerin olduğu ve yüksek silis içerikli volkanik bir kayaç olarak bilinir. Başka bir deyişle, pomza çok poroz bir yapıya sahip olan volkanik cam taş türüdür. Ortalama ergime noktası olarak 1343°C olup 760°C'nin altında ise hacimsel olarak değişikliğe uğramaz [1, 2]. Pomza (Bims) birçok hammadde türü için değişik avantajları olmakla birlikte birçok endüstri dallarında da sıklıkla kullanılmaktadır. İnşaat ve yapı endüstrisinde pomza taşının düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı

Bu makaleye atıf yapmak için

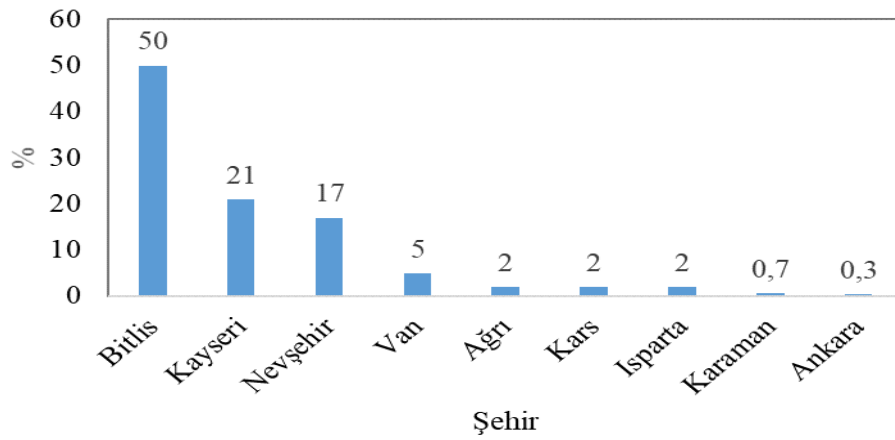
Kaplan Göztok, T., Uçurum, M., Özdemir, A., “Bulanık İstatistiksel Proses Kontrol Tekniği ile 19x39x19 cm Bims Hafif Yapı Malzemesi Üretiminin Analizi” El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(1); 43-56.

How to cite this article

Kaplan Göztok, T., Uçurum, M., Özdemir, A., “Analysis of 19x39x19 cm Pumice Brick Material Production with Fuzzy Statistical Process Control Technique” El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(1); 43-56.

ve ses yalıtımı gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda hafif yapı malzemelerinin önemi artmaktadır. Pomza taşı inşaat sektörü dışında tarım, kimya ve tekstil sanayi sektörlerinde de kullanılmaktadır. Ülkemizde ise pomza taşının kullanımı ile ilgili çalışmaların yeterli olmadığı da gözlenmiştir. Bu nedenle, önemli pomza rezerv potansiyeline sahip olan ülkemiz için pomza ile ilgili yeterli araştırmanın yapılması ve kullanımın artırılması ile ülke ekonomisine de yüksek bir katma değer sağlanacağı düşünülmektedir [3, 4]. Pomza da gözenekler teknik olarak incelendiğinde birbirleriyle bağlantılı bir yapı göstermezler. İçerdiği gözenekler mikro ve makro düzeyde çok farklı boyutlarda olabilmektedir. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 5-6 aralığında seyretmektedir [5].

Ülkemiz bilindiği üzere yeraltı kaynakları açısından oldukça zengindir. Yaklaşık 18 milyar m³ civarında olan dünya pomza rezervinin yaklaşık olarak %40'ı yani 7.4 milyar m³ ile Türkiye pomza da söz sahibi konumdadır. Bugün itibarı ile Türkiye'de işletilen pomza sahaları içinde İç Anadolu Bölgesi birinci sırayı almaktadır. Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri ise İç Anadolu Bölgesi'ni takip eden bölgelerdir. Türkiye pomza rezerv dağılımı ise Şekil 1'de verilmiştir [6].



Şekil 1. Pomza rezerv dağılımının illere göre dağılımı [6]

Pomza agregası kullanılarak üretilen Bims (briket) hafif yapı malzemeleri inşaat sektöründe yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Pomza, genelde homojen olan ve birbirini kesmeyen makro ve mikro boyutta gözenek (porozite veya boşluk) sistemden oluşmuştur. Bu boşluğun hacimsel oranı %70 civarlarında ve dolayısıyla da çok hafif bir malzemedir (birim hacim kütlesi: 350-650 kg/m³) [7-9]. Günümüz itibarıyla yapı sektöründe kullanılan malzemelerin başlıca temel özelliklerinde aranan fonksiyonlar ısı ve ses yalıtımlarıdır. İnşaat ve yapı sektöründe özellikle hafif yapı elemanları buna bağlı olarak ısı ve ses yalıtımı özelliklerinin sağlanması için pomzanın imalatının hafif blok elemanı ve hafif beton için uygun olduğu görülmüştür [7-13]. İzolasyon tuğlası (Bimsblok veya tuğla) üretiminde pomza sıklıkla kullanılmaktadır. Pomzadan üretilen hafif yapı malzemeleri içinde en yaygın üretim ve kullanma ağına sahip olan ürün Bims bloklardır. Bunun temel sebebi, Bims bloklarının yüksek ısı, ses yalıtımına ve yüksek mukavemete sahip olmaları ile birlikte depreme dayanıklı en ucuz malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Dünyanın Bims tüketimine bakıldığında zaman ise yıllık 20.000.000 m³'ü civarında olduğu görülmektedir [14]. Ülkemiz için ise durum farklılık göstermemekte olup Bims blok, gaz beton ve tuğla ile birlikte en fazla kullanılan üç hafif yapı elemanından birisidir. Bims bloklarının 2011 yılında pazar payının % 23-24 seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir [15].

İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK), bir üretim sürecine ait değişkenlikleri kontrol altına almada ve prosesi istikrarlı bir halde tutmada tercih edilen matematik esaslı etkili bir kalite kontrol aracıdır. İPK süreci bir tesiste üretilen ürünün en ideal ve ekonomik üretiminin gerçekleştirilmesi için önceden belirlenmiş spesifikasyonlara ve standartlara uygunluğunun kontrol edilmesi amacıyla istatistik veri

tabanına dayalı tekniklerin kullanıldığı bir yöntemdir [16]. İPK bir işletmede üretilen ürünlerin tamamını kontrol etmek yerine ürünlerden belli kurallar dâhilinde numuneler alarak bütün hakkında tahminde bulunmak için kullanılan bir kalite kontrol aracıdır. Üretim sürecinde etkin olan bütün parametrelerin (makine, metot, alet, malzeme ve insan gücü) tamamını da İPK ele almaktadır [17].

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Bu makalede bir Bims işletmesinden temin edilen ürünler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 24 gün boyunca Şekil 2’de verilen 19x39x19 cm Bims hafif yapı malzemesinden belli bir periyotta günde 5’er adet alınarak birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) hesaplanmak sureti ile veriler elde edilmiştir.



Şekil 2. 19x39x19 cm Bims örneği

2.2 Geleneksel \bar{X} ve R Kontrol Grafikleri ve Süreç Yeterlilik Analizi

Değişken şemaları ürünün kalitesini belirleyen bir özelliğinin ölçülmesi ve kalitenin bu şekilde takip edilmesi için kullanılmaktadır. Bu amaçla literatürde en yaygın olarak bulunan şemalar ve bunlarla ilgili kısa bir değerlendirme Tablo 1’de özetlenmektedir. Bir diğer grafik türü olan \bar{X} ve S kontrol grafiği daha çok alt grup sayısı 10 veya daha fazla olan durumlarda uygundur. Literatürde de yaygın olarak kullanılan \bar{X} ve R kontrol grafikleridir ve daha çok alt grup sayısının 10’a kadar olan durumlarda uygundur. Materyal kısmında da bahsedildiği gibi alt grup sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı bu makalede \bar{X} ve R kontrol grafiği değişkenler için tercih edilmiştir.

Geleneksel kontrol diyagramlarında \bar{X} kontrol grafikleri ortalama değerden sapmayı gösterirken, R kontrol grafikleri ise homojenlikten ayrılma değerlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Alt kontrol limiti (AKL), üst kontrol limiti (ÜKL) ve orta değer (OD) değerlerinin \bar{X} ve R için hesaplanması için kullanılan yaklaşımlar ise aşağıda verilmiştir:

\bar{X} : Alt grupların değerlerinin ortalaması

$\bar{\bar{X}}$: Alt grup değerlerinin ortalamalarının ortalaması

R_i : Alt grup değerlerinin değişim aralığı ($R_{en\ büyük} - R_{en\ küçük}$)

\bar{R} : Alt grup değerlerinin değişim aralığının ortalamasını göstermektedir [18].

$$\bar{ÜKL}_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad (1)$$

$$OD_{\bar{X}} = \bar{X} \quad (2)$$

$$AKL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R} \quad (3)$$

$$\dot{Ü}KL_R = D_4\bar{R} \quad (4)$$

$$OD_R = \bar{R} \quad (5)$$

$$AKL_R = D_3\bar{R} \quad (6)$$

$$\mu = \bar{X} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (8)$$

Bu formüllerdeki A_2 , d_2 , D_3 ve D_4 değerleri numune sayısına (N) göre değişen sabitler olup Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Sürekli değişkenler için kontrol şemaları [19]

Grafik Tipi	Artıları	Eksileri
$\bar{X} - R$	Uygunsuz üretimi önlemeye ve sürecin etkin kontrolünü sağlamaya yarar.	Veri toplamak zor ve masraflıdır.
XmR	Verileri alt gruplar halinde değil de tek tek gözlemler olarak elde edebiliyorsanız bu kolay ve geçerli bir yöntemdir.	Nitelik değişkenleri için kullanıldığı zaman 1. ve 2. tür hata olasılıklarını artırır. Alt grupların değişkenliği belirlenemez.
c ve u	Sorunları belirlemek için iyi çünkü özel kusur türleri izlenebilir. Veri toplaması kolay.	Sorun önleyici değeri az.
p ve np	Genel bir yönetim aracı olarak yararlı.	Sorun belirleme veya önleme değeri az.

Süreç yeterlilik analizinde ise süreç yeterlilik indeksleri ile kontrol grafiği yaklaşımları kullanılır. Süreç yeterliliği, istatistiksel olarak bir sürecin ne kadar değiştiğini kontrol limitlerini kullanarak belirtmektedir. C_p ve C_{pk} indisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. C_p indisi süreç limitleri arasındaki ilişkiyi belirler. C_{pk} indisi ise süreç ortalamasının yerinin alt ve üst kontrol limitleri esas alınarak hesaplanması ile ölçülür [21-22]. C_p ve C_{pk} indisleri 9 ve 10’daki eşitliklerdeki gibi hesaplanır [23].

Tablo 2. Farklı numune büyüklükleri için A_2 , d_2 , D_3 ve D_4 değerleri [20]

N	D_3	D_4	d_2	A_2
2	0,00	3,267	1,128	1,880
3	0,00	2,574	1,693	1,023
4	0,00	2,282	2,059	0,729
5	0,00	2,115	2,326	0,577
6	0,00	2,004	2,534	0,483
7	0,076	1,924	2,704	0,419

9 ve 10’daki eşitliklerdeki 6σ değeri ise doğal tolerans limitidir [24]. C_p ve C_{pk} değerlerinin 1,33 değerinde veya bu değerden yüksek olması durumunda da sürecin yeterli olduğu yorumunun yapılmasına olanak sağlar [25].

$$C_p = \frac{\dot{U}SL - ASL}{6\sigma} \quad (9)$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\dot{U}SL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - ASL}{3\sigma} \right] \quad (10)$$

Analizi yapılacak verilerin ortalaması $\dot{U}SL$ (üst spesifikasyon limiti) ve ASL (alt spesifikasyon limiti) değerlerin tam ortasında değilse, C_{pk} değeri C_p 'den farklı olacaktır. Ortalamanın $\dot{U}SL$ ve ASL değerlerinin tam ortasında olması durumunda C_p ve C_{pk} değerleri birbirine eşit olacaktır. C_p değeri süreç potansiyeli hakkında bilgi verirken C_{pk} değeri ise süreçteki anlık değişimin yeterliliği hakkında bilgi verir [26].

2.3 Bulanık \bar{X} ve R Kontrol Grafikleri ve Süreç Yeterlilik Analizi

Bulanık mantık ile ilgili çalışmalar ilk kez 1965'de Zadeh tarafından Aristo mantığına dayanarak "Bir nesne kümenin ya elemanıdır ya da elemanı değildir" düşüncesindeki ikili mantık sistemine karşı geliştirilmiş bir tekniktir. Bulanık mantık, günlük yaşantıda karşımıza çıkan olaylara üyelik dereceleri düşünülerek olayların hangi oranlarla ortaya çıkabileceğini sunan bir sistemdir.

Bulanık mantık bir örnekle açıklanacak olursa; bir şehrin farklı yerlerindeki su kirliliği ölçümleri modellenmesi için düşünebilir. Su kirlidir veya değildir türünde bir modelleme yaklaşımı yerine daha gerçekçi olan suyun kirlilik derecesini esas alan bir modelleme yaklaşımı daha gerçekçi bir çözüm sunacaktır [27]. Bulanık Küme yaklaşımı; ilk başlangıçta teorik bir araştırma alanı olarak oluşmuş olup, devam eden yıllarda pek çok alanda uygulanmaya başlamıştır. Bulanık küme yaklaşımı için birçok yazılım ve donanım bulanık kontrol işlevi için ortaya çıkmıştır [28-29].

Bims hafif yapı malzemesi üretim sürecinin kontrol altında olup olmadığının anlaşılmasında bulanık kontrol limitlerini kullanan $\bar{X} - R$ kontrol grafikleri bu makalede kullanılmıştır. Kontrol grafikleri ele alınırken, bulanık kontrol limitleri ve örneklerin birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Bu aşamadan sonra ise süreç yeterliliği analizi için bulanık kontrol limitleri üzerinden süreç yeterlilik indisleri aracılığıyla incelenmiştir. Kalite özellikleri "yaklaşık X" olarak tanımlanmış olup belirsiz dizi kavramını göz önüne alındığında, bu dizi üçgensel bulanık sayılara ($\dot{U}BS$) $\dot{X} = (X_1; X_2; X_3)$ dönüştürülmüştür. Örnek n tane üçgen bulanık sayılar ($X_{1j}; X_{2j}; X_{3j}$) $j = 1; 2; 3; \dots; n$, örneğin ortalaması uzantı prensibine göre hesaplanmıştır.

$$\dot{\bar{X}} = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3) = \left(\frac{\sum_{j=1}^n X_{1j}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^n X_{2j}}{n}, \frac{\sum_{j=1}^n X_{3j}}{n} \right) \quad (11)$$

Bunun yanında uzatma prensibi göz önüne alınarak bir dizi örnek hesaplanabilir:

$$\bar{R} = (R_1, R_2, R_3) \quad (12)$$

$$\bar{R} = \left(\text{en büyük } X_{1j}, \text{ en büyük } X_{2j}, \text{ en büyük } X_{3j} \right) - \left(\text{en küçük } X_{1j}, \text{ en küçük } X_{2j}, \text{ en küçük } X_{3j} \right) \quad (13)$$

$$\bar{R} = \left(\text{en büyük } X_{1j} - \text{en küçük } X_{1j}, \text{ en büyük } X_{2j} - \text{en küçük } X_{2j}, \text{ en büyük } X_{3j} - \text{en küçük } X_{3j} \right) \quad (14)$$

Bu denklemde (en büyük X_{1j} ; en büyük X_{2j} ; en büyük X_{3j}) ve (en küçük X_{1j} ; en küçük X_{2j} ; en küçük X_{3j}) en büyük ve en küçük belirsiz ölçüm değerlerini temsil eder. En büyük ve en küçük ölçüm değerlerini tespit etmenin bir yolu da sıralama metoduyla atamadır [30]. n sayısındaki m alt grup, belirsiz genel ortalama ve ortalama dizi örnekleri şöyledir [31]:

$$\bar{X} = \dot{ÜBS}(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3) = \left(\frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_{3i}}{m} \right) \quad (15)$$

$$\bar{R} = \dot{ÜBS}(\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3) = \left(\frac{\sum_{i=1}^m \bar{R}_{1i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{R}_{2i}}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m \bar{R}_{3i}}{m} \right) \quad (16)$$

Bu nedenle sırasıyla, \bar{X} 'in kontrol tabloları için kontrol limitleri aşağıdaki gibidir:

$$\dot{ÜKL}_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = (\bar{X}_1 + A_2 \bar{R}_1, \bar{X}_2 + A_2 \bar{R}_2, \bar{X}_3 + A_2 \bar{R}_3) \quad (17)$$

$$OD_{\bar{X}} = \bar{X} = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3) \quad (18)$$

$$AKL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = (\bar{X}_1 - A_2 \bar{R}_1, \bar{X}_2 - A_2 \bar{R}_2, \bar{X}_3 - A_2 \bar{R}_3) \quad (19)$$

Aynı şekilde, \bar{R} 'in kontrol limitleri aşağıdaki gibidir.

$$\dot{ÜKL}_{\bar{R}} = \bar{R} D_4 = (\bar{R}_1 D_4, \bar{R}_2 D_4, \bar{R}_3 D_4) \quad (20)$$

$$OD_{\bar{R}} = \bar{R} = (\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3) \quad (21)$$

$$AKL_{\bar{R}} = \bar{R} D_3 = (\bar{R}_1 D_3, \bar{R}_2 D_3, \bar{R}_3 D_3) \quad (22)$$

Spesifikasyon limitleri (SL'ler) ve göz önünde bulundurulmuş kalite özellikleri ölçümleri dilde "yaklaşık" veya "hemen hemen" olarak tanımlanmıştır. Bu durum için üçgen bulanık sayılar ($\dot{ÜBS}$ 'ler) daha uygundur. $\dot{ÜKL}$ (üst kontrol limiti) (u_1, u_2, u_3) şeklinde $\dot{ÜBS}$ olarak ve AKL (alt kontrol limiti) (l_1, l_2, l_3) şeklinde $\dot{ÜBS}$ olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\dot{ÜKL} = \dot{ÜBS}(u_1, u_2, u_3) \quad (23)$$

$$AKL = \dot{ÜBS}(l_1, l_2, l_3) \quad (24)$$

Ayrıca bulanık işlem ortalaması $\dot{\mu}$ ve standart sapma $\dot{\sigma}$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir [32]:

$$\dot{\mu} = \bar{X} = \dot{ÜBS}(\mu_1, \mu_2, \mu_3) \quad (25)$$

$$\dot{\sigma} = \frac{\dot{R}}{d_2} = \left(\frac{\bar{R}_1}{d_2}, \frac{\bar{R}_2}{d_2}, \frac{\bar{R}_3}{d_2} \right) = \dot{ÜBS}(s_1, s_2, s_3) \quad (26)$$

Eşitlikler (25) ve (26) yer alan (μ_1, μ_2, μ_3) ve (s_1, s_2, s_3) ifadeleri sırasıyla ortalama ve standart sapma değerleri için üçgen bulanık sayılardır.

Bu tanımlara dayanarak; bulanık süreç yeterlilik indeksleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C_p = \frac{\dot{ÜSL} - \dot{ASL}}{6\dot{\sigma}} = \dot{ÜBS}\left(\frac{u_1 - l_1}{6s_1}, \frac{u_2 - l_2}{6s_2}, \frac{u_3 - l_3}{6s_3}\right) \quad (27)$$

$$C_{pu} = C_{pk1} = \frac{\bar{USL} - \mu}{3\sigma} = \bar{UBS} \left(\frac{u_1 - \mu_1}{3s_1}, \frac{u_2 - \mu_2}{3s_2}, \frac{u_3 - \mu_3}{3s_3} \right) \quad (28)$$

$$C_{pl} = C_{pk2} = \frac{\mu - ASL}{3\sigma} = \bar{UBS} \left(\frac{\mu_1 - l_1}{3s_1}, \frac{\mu_2 - l_2}{3s_2}, \frac{\mu_3 - l_3}{3s_3} \right) \quad (29)$$

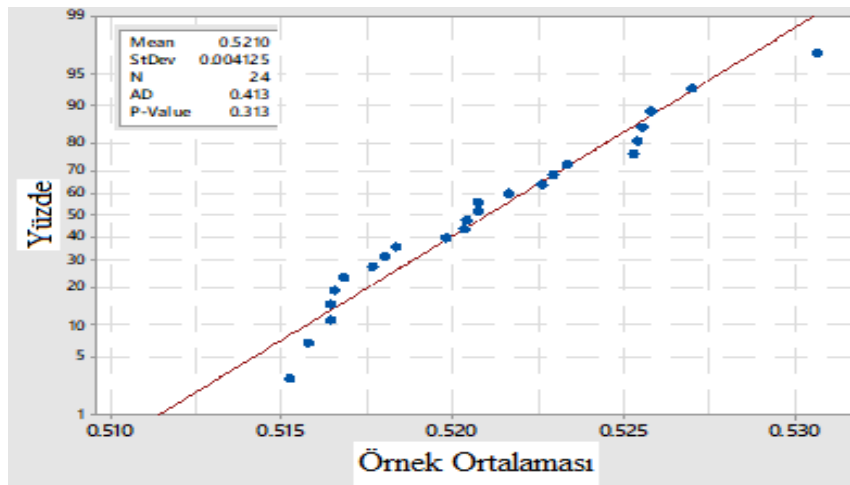
C_p ve C_{pk} değerlerine göre süreç yeterlilik indeksleri şu şekilde yorumlanabilmektedir: $C_p \leq 1$ ise sürecin yeterli olmadığı, $1 < C_p \leq 1.33$ ise sürecin kabul edilebilir bir seviyede olduğu, $C_p > 1.33$ ise sürecin yeterli olduğu yorumu yapılır. $C_{pk} = 1$ ise verilerin bir bölümü limitlere yaklaşır. $C_{pk} > 1$ olduğunda ise verilerin tamamı sürecin sınırlarının içinde yer alır. $0 < C_{pk} \leq 1$ olduğunda ise sürecin ortalaması limitler içine düşer. Bu durum da sürecin yeterli olmadığı yorumu yapılır. $C_{pk} = 0$ ise sürecin ortalaması ile limitler birbirine eşittir ve de süreç yetersizdir yorumu yapılır. $C_{pk} < 0$ olduğunda ise süreç ortalaması limitlerin dışındadır ve de sürecin yetersiz olduğu yorumlanır [33]. Bu makaledeki hafif yapı malzemelerin birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) için spesifikasyon limitleri Tablo 3'de verildiği gibi alınmıştır.

Tablo 3. Hafif yapı malzemelerin birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) için limitler

Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm^3)	
\bar{USL}	1,60
ASL	0,30

3. Bulgular

Üzerinde çalışılan Bims fabrikasından yirmi dört gün süre ile $19 \times 39 \times 19$ cm Bims ürününden belli periyotlarda günlük beşer adet numune alınarak birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) hesaplanmıştır. Elde edilen sayısal veriler bu bölümde ele alınmıştır. $19 \times 39 \times 19$ cm Bims ürünleri için elde edilen birim hacim ağırlıkları Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'deki gözlemlenen sonuçları $0,005 \text{ kg}/\text{dm}^3$ bulanıklık değerine göre Tablo 5'deki şekilde \bar{UBS} 'ye dönüştürülmüştür. İlk olarak, sürecin normal dağılıma uygunluğu Minitab 16 programında Anderson-Darling normallik testi yapılarak analiz edilmiştir. Minitab16 programında yapılan hipotez testinin sonucunda p -değeri, $\alpha=0,05$ (%95 güvenilirlik düzeyinde) değerinden büyük olduğundan dolayı sürecin normal dağılıma uyduğu tespit edilmiştir. Şekil 3'de normal dağılıma uygunluğu da görülmektedir.



Şekil 3. Anderson-Darling normallik testi

Bulanık \bar{X} ve R istatistiksel kontrol tabloları için sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. İşlemin, bulanık \bar{X} ve R istatistiksel kontrol tabloları kullanılarak Tablo 7'de kontrol edilmiştir. Eşitlik 5'deki formül kullanılarak Tablo 6'daki \bar{X} değerleri ve Eşitlik (6) kullanılarak Tablo 6'daki R değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4'de bulanık \bar{X} değerleri için her numunenin üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonlarını verilmiştir.

Tablo 4. 19x39x19 cm Bims'in hacim ağırlıkları (kg/dm³)

N	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$X_{ortalama}$
1	0,512	0,514	0,535	0,517	0,512	0,518
2	0,512	0,514	0,530	0,513	0,514	0,516
3	0,520	0,529	0,525	0,514	0,514	0,520
4	0,525	0,521	0,521	0,524	0,512	0,521
5	0,512	0,530	0,514	0,512	0,512	0,516
6	0,512	0,539	0,515	0,525	0,521	0,523
7	0,518	0,527	0,515	0,512	0,511	0,517
8	0,512	0,512	0,512	0,528	0,512	0,515
9	0,519	0,512	0,511	0,515	0,527	0,517
10	0,512	0,530	0,524	0,529	0,534	0,526
11	0,524	0,526	0,526	0,512	0,515	0,521
12	0,512	0,519	0,537	0,522	0,526	0,523
13	0,526	0,519	0,542	0,522	0,526	0,527
14	0,520	0,540	0,521	0,526	0,520	0,525
15	0,512	0,517	0,514	0,520	0,526	0,518
16	0,529	0,536	0,522	0,520	0,520	0,525
17	0,511	0,514	0,515	0,529	0,522	0,518
18	0,522	0,534	0,522	0,516	0,514	0,522
19	0,512	0,530	0,514	0,512	0,515	0,516
20	0,526	0,523	0,511	0,526	0,515	0,520
21	0,520	0,531	0,523	0,513	0,513	0,520
22	0,540	0,536	0,512	0,511	0,515	0,523
23	0,515	0,529	0,534	0,523	0,529	0,526
24	0,520	0,541	0,541	0,533	0,518	0,531

Tablo 5. 19x3919 cm Bims ÜBS olarak gözlem değerleri

<i>N</i>	X_1		X_2		X_3		X_4		X_5						
1	0,507	0,512	0,517	0,509	0,514	0,519	0,530	0,535	0,540	0,512	0,517	0,522	0,507	0,512	0,517
2	0,507	0,512	0,517	0,509	0,514	0,519	0,525	0,530	0,535	0,508	0,513	0,518	0,509	0,514	0,519
3	0,515	0,520	0,525	0,524	0,529	0,534	0,520	0,525	0,530	0,509	0,514	0,519	0,509	0,514	0,519
4	0,520	0,525	0,530	0,516	0,521	0,526	0,516	0,521	0,526	0,519	0,524	0,529	0,507	0,512	0,517
5	0,507	0,512	0,517	0,525	0,530	0,535	0,509	0,514	0,519	0,507	0,512	0,517	0,507	0,512	0,517
6	0,507	0,512	0,517	0,534	0,539	0,544	0,510	0,515	0,520	0,520	0,525	0,530	0,516	0,521	0,526
7	0,513	0,518	0,523	0,522	0,527	0,532	0,510	0,515	0,520	0,507	0,512	0,517	0,506	0,511	0,516
8	0,507	0,512	0,517	0,507	0,512	0,517	0,507	0,512	0,517	0,523	0,528	0,533	0,507	0,512	0,517
9	0,514	0,519	0,524	0,507	0,512	0,517	0,506	0,511	0,516	0,510	0,515	0,520	0,522	0,527	0,532
10	0,507	0,512	0,517	0,525	0,530	0,535	0,519	0,524	0,529	0,524	0,529	0,534	0,529	0,534	0,539
11	0,519	0,524	0,529	0,521	0,526	0,531	0,521	0,526	0,531	0,507	0,512	0,517	0,510	0,515	0,520
12	0,507	0,512	0,517	0,514	0,519	0,524	0,532	0,537	0,542	0,517	0,522	0,527	0,521	0,526	0,531
13	0,521	0,526	0,531	0,514	0,519	0,524	0,537	0,542	0,547	0,517	0,522	0,527	0,521	0,526	0,531
14	0,515	0,520	0,525	0,535	0,540	0,545	0,516	0,521	0,526	0,521	0,526	0,531	0,515	0,520	0,525
15	0,507	0,512	0,517	0,512	0,517	0,522	0,509	0,514	0,519	0,515	0,520	0,525	0,521	0,526	0,531
16	0,524	0,529	0,534	0,531	0,536	0,541	0,517	0,522	0,527	0,515	0,520	0,525	0,515	0,520	0,525
17	0,506	0,511	0,516	0,509	0,514	0,519	0,510	0,515	0,520	0,524	0,529	0,534	0,517	0,522	0,527
18	0,517	0,522	0,527	0,529	0,534	0,539	0,517	0,522	0,527	0,511	0,516	0,521	0,509	0,514	0,519
19	0,507	0,512	0,517	0,525	0,530	0,535	0,509	0,514	0,519	0,507	0,512	0,517	0,510	0,515	0,520
20	0,521	0,526	0,531	0,518	0,523	0,528	0,506	0,511	0,516	0,521	0,526	0,531	0,510	0,515	0,520
21	0,515	0,520	0,525	0,526	0,531	0,536	0,518	0,523	0,528	0,508	0,513	0,518	0,508	0,513	0,518
22	0,535	0,540	0,545	0,531	0,536	0,541	0,507	0,512	0,517	0,506	0,511	0,516	0,510	0,515	0,520
23	0,510	0,515	0,520	0,524	0,529	0,534	0,529	0,534	0,539	0,518	0,523	0,528	0,524	0,529	0,534
24	0,515	0,520	0,525	0,536	0,541	0,546	0,536	0,541	0,546	0,528	0,533	0,538	0,513	0,518	0,523

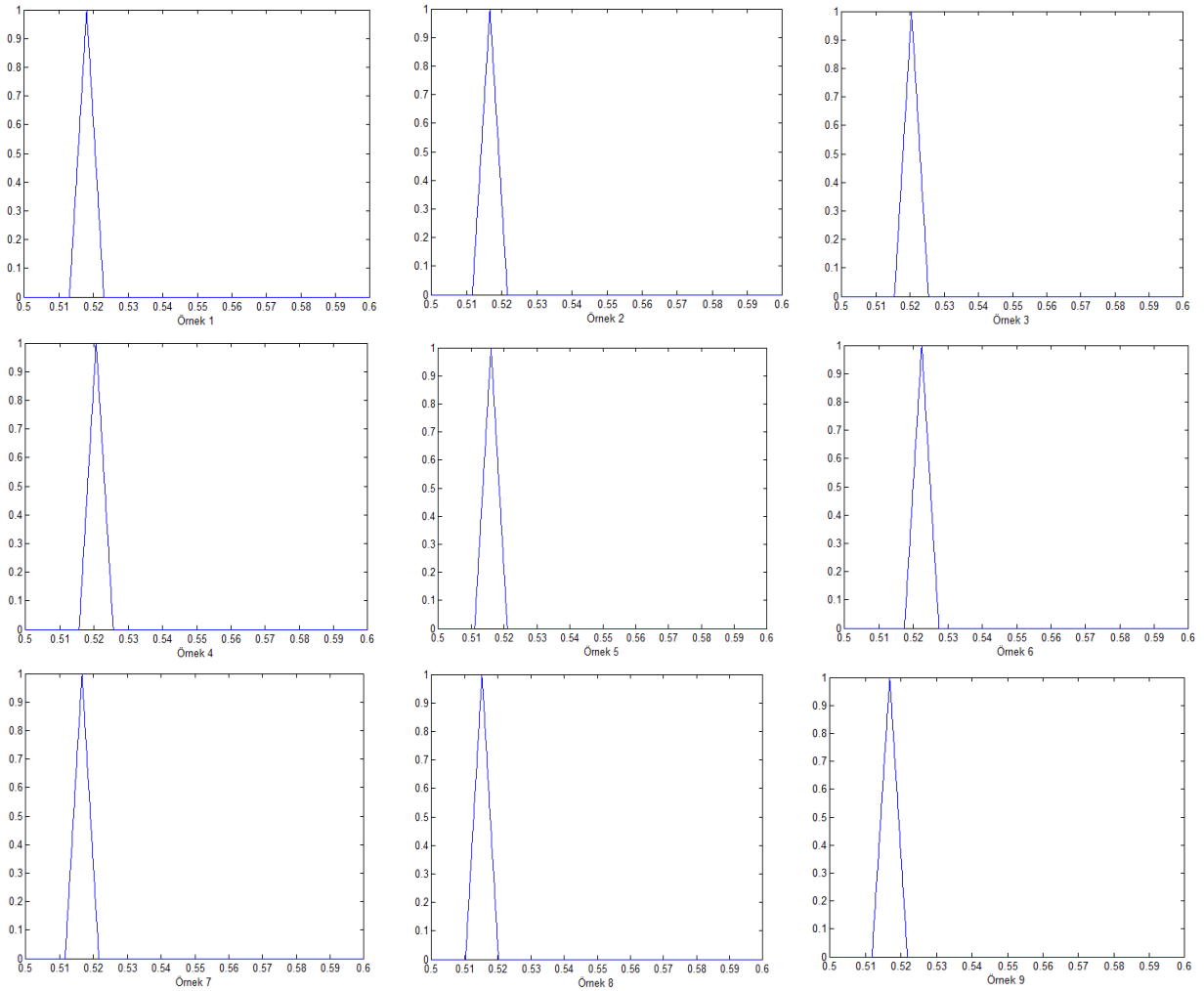
Tablo 6. Ortalama ve değişim aralığı değerleri ile kontrol sonuçları

<i>N</i>	\bar{X}			<i>R</i>					
1	0,5130	0,5180	0,5230	K.A.	0,0230	0,0230	0,0230	K.A.	
2	0,5116	0,5166	0,5216	K.A.	0,0018	0,0180	0,0180	K.A.	
3	0,5154	0,5204	0,5254	K.A.	0,0150	0,0150	0,0150	K.A.	
4	0,5156	0,5206	0,5256	K.A.	0,0130	0,0130	0,0130	K.A.	
5	0,5110	0,5160	0,5210	K.A.	0,0180	0,0180	0,0180	K.A.	
6	0,5174	0,5224	0,5274	K.A.	0,0270	0,0270	0,0270	K.A.	
7	0,5116	0,5166	0,5216	K.A.	0,0160	0,0160	0,0160	K.A.	
8	0,5102	0,5152	0,5202	K.A.	0,0160	0,0160	0,0160	K.A.	
9	0,5118	0,5168	0,5218	K.A.	0,0160	0,0160	0,0160	K.A.	
10	0,5208	0,5258	0,5308	K.A.	0,0220	0,0220	0,0220	K.A.	
11	0,5156	0,5206	0,5256	K.A.	0,0140	0,0140	0,0140	K.A.	
12	0,5182	0,5232	0,5282	K.A.	0,0250	0,0250	0,0250	K.A.	
13	0,5220	0,5270	0,5320	K.A.	0,0230	0,0230	0,0230	K.A.	
14	0,5204	0,5254	0,5304	K.A.	0,0200	0,0200	0,0200	K.A.	
15	0,5128	0,5178	0,5228	K.A.	0,0140	0,0140	0,0140	K.A.	
16	0,5204	0,5254	0,5304	K.A.	0,0160	0,0160	0,0160	K.A.	
17	0,5132	0,5182	0,5232	K.A.	0,0180	0,0180	0,0180	K.A.	
18	0,5166	0,5216	0,5266	K.A.	0,0200	0,0200	0,0200	K.A.	
19	0,5116	0,5166	0,5216	K.A.	0,0180	0,0180	0,0180	K.A.	
20	0,5152	0,5202	0,5252	K.A.	0,0150	0,0150	0,0150	K.A.	
21	0,5150	0,5200	0,5250	K.A.	0,0180	0,0180	0,0180	K.A.	
22	0,5178	0,5228	0,5278	K.A.	0,0290	0,0290	0,0290	K.A.	
23	0,5210	0,5260	0,5310	K.A.	0,0190	0,0190	0,0190	K.A.	
24	0,5256	0,5306	0,5356	K.A.	0,0230	0,0230	0,0230	K.A.	
Ortalama	0,5159	0,5209	0,5259		0,0190	0,0190	0,0190		
K.A.	Kontrol Altında								

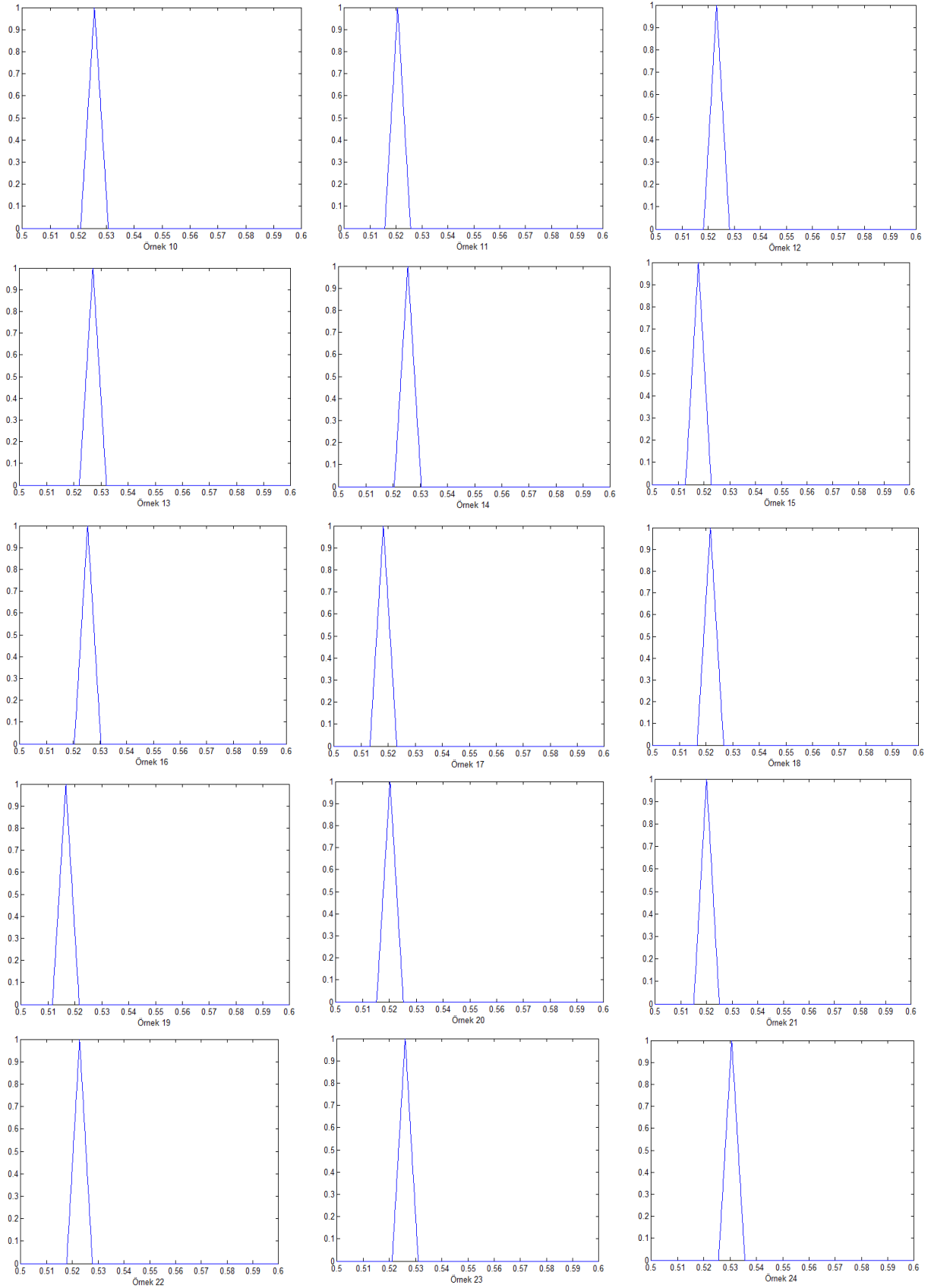
Tablo 7'deki değerler üst kontrol limitleri için Eşitlik (17) \bar{X} grafiği ve Eşitlik (20) R grafiği, orta değer için Eşitlik (18) \bar{X} grafiği ve Eşitlik (21) R grafiği ve de alt kontrol limitleri için Eşitlik (19) \bar{X} grafiği ve Eşitlik (22) R grafiği için kullanılmıştır.

Tablo 7. Kontrol limitleri \bar{X} ve R için sonuçları göstermektedir

Kontrol şeması	Kontrol limiti	Kontrol limitlerinin değerleri		
\bar{X}	$\dot{U}KL_{\bar{X}}$	0,5262	0,5315	0,5368
	$OD_{\bar{X}}$	0,5159	0,5209	0,5259
	$AKL_{\bar{X}}$	0,5057	0,5103	0,5149
R	$\dot{U}KL_R$	0,0402	0,0402	0,0402
	OD_R	0,0190	0,0190	0,0190
	AKL_R	0,0000	0,0000	0,0000



Şekil 4. Bulanık \bar{X} değerleri için her numunenin üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları



Şekil 4. Bulanık \bar{X} değerleri için her numunenin üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları (devamı)

Tablo 6 da görüldüğü üzere bulanık R değerleri hesaplanmış ve her bir örnekteki bulanık değerlerin o örnek için alt, orta ve üst değerleri aynı olduğundan üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu grafikleri

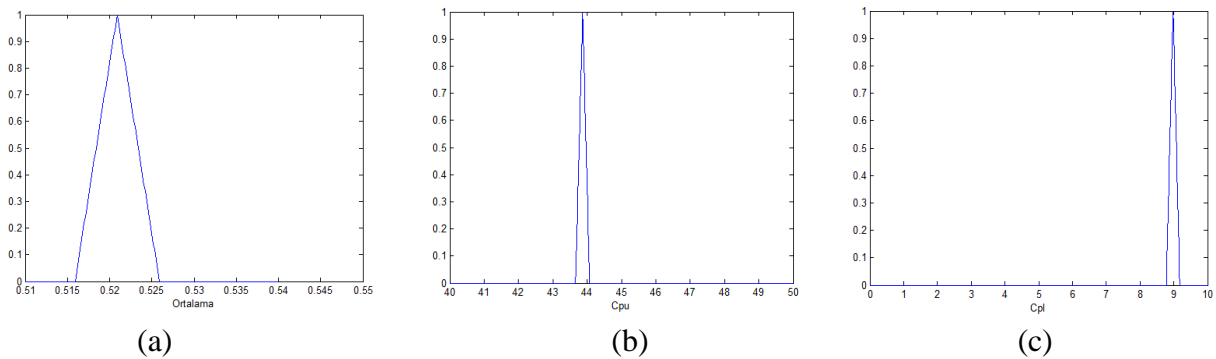
çizdirilemez. Kontrol şema analizi ise yapılabilir ve değerlerin aynı olup olmaması bu durumu değiştirmez sadece kontrol limitleri de aynı değerler olarak bulunur. Tablo 7’de kontrol limitleri gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucu bulanık R kontrol şeması da kontrol altındadır. Bulanık R grafiği hesaplamalarında bulanık sayıların alt gruptaki en büyük ve en küçük değerler arasındaki fark olduğundan dolayı hepsinin aynı çıkması da beklenebilir çünkü bulanık sayılar 0,05 artırmalı olarak elde edildiğinden dolayıdır.

μ , σ , \hat{C}_p , \hat{C}_{pu} ve \hat{C}_{pl} değerleri Tablo 8’de Bims bloklarının imalatı için belirlenen limitlerde çalışılıp çalışılmadığını kontrol etmek için hesaplanmıştır. Söz konusu tablo incelendiğinde \hat{C}_p , \hat{C}_{pu} ve \hat{C}_{pl} değerlerinin 1.33’ten büyük olduğu görülmektedir. Bu sonuç ise işletmenin 19x39x19 cm Bims blok üretiminde birim hacim ağırlığı bazında hafif yapı malzemesi limitler dâhilinde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Tablo 8. μ , σ , \hat{C}_p , \hat{C}_{pu} ve \hat{C}_{pl} değerleri

Parametre	Değerler		
μ	0,5159	0,5209	0,5259
σ	$8,2 \times 10^{-3}$	$8,2 \times 10^{-3}$	$8,2 \times 10^{-3}$
\hat{C}_p	26,42	26,42	26,42
\hat{C}_{pu}	44,07	43,87	43,66
\hat{C}_{pl}	8,78	8,98	9,18

Tablo 8’deki μ , \hat{C}_{pu} ve \hat{C}_{pl} parametrelerinin üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları da Şekil 5’de gösterilmiştir. σ ve \hat{C}_p parametrelerinin üçgen üyelik fonksiyonu bulanık sayı değerleri aynı olduğundan çizdirilememiştir. Bu durum süreç yeterlilik analizinin yapılmasını etkilemez sadece aynı standart sapma değeri formüllerde yerine konulur.



Şekil 5. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonları (a) μ ; (b) \hat{C}_{pu} ; (c) \hat{C}_{pl}

4. Sonuçlar

Bulanık İstatistiksel Proses Kontrol çalışması bir Bims fabrikasında üretilen 19x39x19 cm’lik Bims ürünleri için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; 24 gün boyunca Bims hafif yapı malzemesinden belli periyotlarda günde 5’er adet numune alınarak birim hacim ağırlıkları (gr/cm^3) hesaplanmıştır. Verilerin elde edilmesinde olabilecek ölçüm, tartım ve benzeri hataların minimize edilmesi için ise

Bulanık İstatistiksel Proses kontrol tekniği tercih edilmiştir. Bulanık gözlem değerlerine sahip Bims hafif yapı malzemesi üretim sürecinin kontrol altında olup olmadığının tespit edilmesinde bulanık kontrol limitlerine sahip $\bar{X} - R$ kontrol şemaları kullanılmıştır. Kontrol şemaları elde edilirken bulanık kontrol limitleri ve örneklerin birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) üçgenel bulanık sayılara dönüştürülerek değerlendirilmiştir. Bu aşamadan sonra süreç yeterliliği, bulanık limitleri kullanılarak süreç yeterlilik indisleri aracılığıyla incelenmiştir. Sonuçların analiz edilmesi neticesinde; üzerinde çalışılan ürün için aykırılık yani *AKL* ve *ÜKL* değerlerinin dışında noktalar tespit edilememiştir. Bu durum üretim prosesinin üniform (düzgün) bir yapıda olduğunu ve üretimi üzerinde çalışılan Bims ürünü için kontrol limitleri altında olduğunu ortaya koymuştur. İncelenen Bims tesisinin yeterliliğinin başka bir deyişle istenilen ürünü elde etme yeteneğini ortaya koyan ve İPK'nın çalışma alanlarından birisini oluşturan süreç yeterlilik analizi (C_p - C_{pku} - C_{pkl}) 19x39x19 cm Bims ürünü için hesaplanmıştır. Üretim tolerans sınırları içinde 19x39x19 cm Bims ürünleri için ise C_p değeri 26,42-26,42-26,42, C_{pku} değeri 44,07-43,87-43,66 ve C_{pkl} değeri ise 8,78-8,98-9,18 olarak hesaplanmıştır. C_p değerlerinin her üç durumda da 1,33'den büyük olması nedeni ile Bims tesisinin hafif yapı malzemesi ürünlerinin alt ve üst kontrol limitleri arasında çalıştığını söylemek mümkündür.

Bu makalede Bims ürünlerinin sadece birim hacim ağırlıkları (kg/dm^3) kullanılarak elde edilen bulanık kontrol grafikleri ile bir kalite kontrol faaliyeti gerçekleştirilmiştir. Bims ürünlerinin kalite değerlendirmesinde söz konusu olduğunda basınç dayanımı, ses ve ısı iletkenliği gibi birçok mekanik ve fiziksel özelliklerinde çalışılması ile çoklu değişkenli bulanık kontrol grafikleri de daha ileri bir çalışma olarak yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Akarsu, O., “Endüstriyel Minerallerin Pazarlama ve Ekonomisi”, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü. İzmir: Diploma Projesi, 1999, 116-122.
- [2] DPT, “Çimento hammaddeleri ve yapı malzemeleri”, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 1996, 3-50.
- [3] <http://www.blokbims.com.tr> (Erişim Tarihi: 13.05.2018).
- [4] <http://www.blockmachines.com> (Erişim Tarihi: 17.05.2017).
- [5] Köse, H., “Pomza ve yapı malzemesi olarak kullanım olanakları”, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 1997, 97-105.
- [6] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Toprak Sanayi Meclisi, “Bims (pomza) alt sektör raporu”, https://www.byclb.com/Files/sector_raporlari, 2006, (Erişim Tarihi: 20.11.2018).
- [7] Gündüz, L. (Ed.), “Hafif beton olarak pomza”, I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta: SDÜ, 1998, 103-107.
- [8] Gündüz, L., Bekar, M., Şapıcı, N., “Influence of a newtype of additive on the performance of polymer-light weight mortar composites”, Cement and Concrete Composites, 2007, 29, 594-602.
- [9] Demirdağ, S., Gündüz, L., “Strength properties of volcanic slag aggregate light weight concrete for high performance”, Construction and Building Materials, 2008, 22, 135– 142.
- [10] Gündüz, L., “Isı yalıtım agregası olarak pomzanın kullanımı”, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. İzmir, 2001, 59-68.
- [11] Cavaleri, L., Miraglia, N., Papia, M., “Pumice concrete for structural wall panels”, Engineering Structures, 2003, 25, 115–125.
- [12] Campione, G. And Mendola, L., “Behavior in compression of lightweight fiber rein forced concrete confined with transverse steel reinforcement”, Cement and Concrete Composites, 2004, 26, 645–656.

- [13] Piora, L.S., Piora, I. L., “Production of expanded clayag gregate for light weight concrete from non-self bloating clays”, *Cementand Concrete Composites*, 2004, 6, 639-643.
- [14] Gündüz, L., Davraz, M., Ortaçşeme, H., “Bimsblok ve ısı yalıtım özellikleri”, *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi Bildirimler Kitabı*, 2005, 277-278.
- [15] Gündüz, L., “Pomza kullanımının ar-ge ve yenilik performansını artırmak sunumu”, *Bims ve Pomza Çalıştayı-1*, 2011, Nevşehir.
- [16] Akın, B., “İşletmelerde istatistik proses kontrol, İPK Teknikleri”, İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, 1996.
- [17] Durman, B.M., Pakdil, F., “İstatistiki proses kontrol uygulamaları için bir sistem tasarımı”, VII Ekonometri Kongresi, 2005, İstanbul.
- [18] Eevli S., Behdiođlu S., “İstatistiksel proses kontrolü teknikleri ile kömür kalitesindeki değişkenliğin belirlenmesi”, *Madencilik*, 2006, 4(3), 19- 26.
- [19] Özdemir, T., “İstatistiksel kalite kontrol”, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları No: 62, 2000, Ankara.
- [20] <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section3/pmc321.htm> (Erişim Tarihi: 10.07.2019).
- [21] Montgomery, D., “Introduction to statistical quality control”, New York, John Wiley & Sons, Fourth Edition, 2001.
- [22] Kotz, S., Johnson, N., “Process capability indices-a review 1992-2000”, *Journal of Quality Technology*, 2002, 34, 2-19.
- [23] Kane, V.E., “Process capability indices”, *Journal of QualityTechnology*, 1986, 18(1), 41–52.
- [24] Kahraman, C., Kaya, İ., “Fuzzy process capability indices for quality control of irrigation water”, *Stochastic Environmental Researchand Risk Assessment*, 2009, 23(4), 451-462.
- [25] Zeyveli, M. ve Selalmaz, E., “İstatistiksel proses kontrol tekniklerinin zincir imalatı yapan bir işletmede uygulanması”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 2008, 36-45.
- [26] <http://www.kurumsal.kalite.com> (Erişim Tarihi: 10.07.2019).
- [27] Kocatürk Y., “Bulanık değişkenler ve bulanık yenileme süreçleri”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [28] Türkbey, O., “Makine sıralama problemlerinde çok amaçlı bulanık küme yaklaşımı”, *Gazi Üniv., Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2003, 18(2), 63-77.
- [29] Wu, H.C., “Fuzzy-valued integrals of fuzzy valued measurable functions with respect to fuzzy-valued measures based on closed intervals”, *Fuzzy Sets and Systems*, 1997, 87, 65-78.
- [30] Montgomery, D.C., “Introduction to statistical quality control”, New York, John Wiley & Sons, 2005.
- [31] Khademı, M., Amırzadeh, V., “Fuzzy rules for fuzzy x and r control charts”, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 2014, 11(5), 55-66.
- [32] Kaya, I., Kahraman, C., “Process capability analyses based on fuzzy measurements and fuzzy control charts”, *Expert Systems with Applications*, 2011, 38, 3172–3184.
- [33] Aydın Z.B., Arıkan Kargı V.S., “İstatistiksel kalite kontrol teknikleri ile otomotiv sektöründe bir uygulama”, *Journal Of Management and Economics Research*, 2018, 16, 41-63.