

EWMA Kontrol Çizelgeleri ve Sağlık Alanında Kullanımına Genel Bir Bakış

EWMA Control Charts and an Overview of Usage in Health

İsmet DOĞAN^a,
Nurhan DOĞAN^a

^aBiyostatistik ve Tıbbi Bilişim AD,
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri
Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Afyonkarahisar, TÜRKİYE

Received: 17.01.2019
Received in revised form: 07.02.2019
Accepted: 08.02.2019
Available Online: 19.04.2019

Correspondence:
Nurhan DOĞAN
Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri
Üniversitesi, Tıp Fakültesi,
Biyostatistik ve Tıbbi Bilişim AD,
Afyonkarahisar,
TÜRKİYE/TURKEY
nurhandogan@hotmail.com

ÖZET Tıpta kalite kontrolü her geçen gün daha fazla ilgi görmektedir. Bir kontrol çizelgesi, istatistiksel olarak belirlenen limitlere göre ölçülen bir işlemin performansını grafiksel olarak temsil eden veri noktaları içerir. Kontrol çizelgelerinin amacı, bir sürecin kontrol altında olup olmadığı ve bu süreçteki varyasyonun ortak veya özel nedenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını tespit etmektir. Kontrol çizelgesi, 1920'lerin başlarında Shewhart tarafından geliştirilen, en başarılı istatistiksel süreç kontrol aracıdır. Kontrol çizelgesinin kullanılmasının temel amacı, değişimi ve kaynağını inceleyerek zaman içinde süreç performansını izlemek, kontrol etmek ve iyileştirmektir. Literatürde çok sayıda farklı kontrol çizelgesi mevcuttur. EWMA ve CUSUM dışındaki grafikler, bir histogram üzerinde çizildiğinde simetrik ve çan şeklindeki normal dağılıma sahip veriler için en uygun olanlardır. EWMA ve CUSUM çizelgeleri ise Lognormal, Exponential, Binomial, Poisson ve Geometrik rasgele değişkenler de dahil olmak üzere diğer veri türleri için geliştirilmiştir. Bu yazının odak noktası EWMA çizelgesidir. Bu yazıda EWMA istatistiksel süreç kontrol metodolojisi ve tıp alanındaki uygulamaları gözden geçirilecektir. EWMA çizelgesi, verilerdeki küçük değişiklikleri belirleyebildiğinden ve çarpık veri dağılımları ile iyi performans gösterdiğinden seçilmiştir. EWMA çizelgesi, süreç parametrelerindeki küçük ve orta düzeydeki değişimleri saptamadaki mükemmel yeteneği nedeniyle şu anda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Küçük değişiklikleri saptamak için çok esnek ve etkili bir çizelgedir ve normal dağılımın söz konusu olmadığı durumlarda sağlamlık gösterme avantajına sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol çizelgesi; EWMA; istatistiksel süreç kontrolü

ABSTRACT Quality control in medicine is generating more and more interest everyday. A control chart contains data points that graphically represent the performance of a process, measured against statistically determined limits. The purpose of control charts is to ascertain whether a process is in control or out of control and, therefore, whether variation within that process is due to common or special causes. Control chart is the most successful statistical process control tool, originally developed by Shewhart in the early 1920s. The main purpose of using a control chart is to monitor, control, and improve process performance over time by studying variation and its source. There are a multitude of different types of control charts available in the literature. Charts, other than Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) and CUSUM (Cumulative Sum) are most appropriate for normally distributed data, which are symmetric and bell shaped when plotted on a histogram. EWMA and CUSUM charts have been developed for other types of data as well, including Lognormal, Exponential, Binomial, Poisson, and Geometric random variables. The focus of this paper is the EWMA chart. In this paper, will review the methodology of EWMA statistical process control and its application in medical practice. The EWMA chart was selected since it is able to detect small shifts in the data and perform well with skewed data distributions. The EWMA chart has now been widely used because of its excellent ability to detect small to moderate shifts in the process parameters. It is a very flexible and effective chart for detecting small changes and has the advantage of showing robustness to non normality.

Keywords: Control chart; EWMA; statistical process control

Kontrol çizelgeleri bir sürecin aktivitesini izlemek için kullanılan grafiksel araçlardır. Bir süreçteki değişimin ortak veya özel nedenlerin varlığına bağlı olup olmadığını belirlemek için kullanılmaktadır. Süreçteki değişim sadece ortak nedenlerin varlığına bağlı ise, veri noktaları özel bir desen içermez ve süreç kontrol limitleri içerisindeydir. İstatistiksel olarak, sürecin kontrol altında ve kararlı olduğu yani sürecin belirli limitler içinde tahmin edilebileceği söylenir. Öte yandan, özel nedenlere bağlı değişim, sürecin artık kararlı veya öngörülebilir olmadığını ve iyi ya da kötü yönde değiştiğini ifade eder.^{1,2} Kontrol çizelgeleri sürecin kontrolünde üretilen ürünün kalite özelliklerinin ölçümünü, alt ve üst kontrol limiti olarak bilinen belirli sınırlar arasında sürdürmek için istatistiksel bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu araç ilk olarak bir sürecin ne zaman iyi ne zaman kusurlu bir ürün ürettiğini belirleyebilmek amacıyla Shewhart (1926), tarafından geliştirilmiştir. O zamandan beri, sürecin istatistiksel performansının yanı sıra ekonomik performansın kontrolü için de yaygın şekilde kullanılmaktadır.³ Page (1954), Shewhart kontrol çizelgelerine etkin bir alternatif olarak, CUSUM kontrol çizelgeleri önermiştir. CUSUM çizelgeleri, sürece ait gözlem değerlerinin belirlenen bir hedef değerden toplam sapmalarının hesaplanmasıdır. CUSUM çizelgeleri gözlem değerlerine ait bilgileri birleştirdiği için, küçük süreç değişimlerini belirlemede Shewhart çizelgelerinden daha etkilidirler.⁴ EWMA ilk olarak, Roberts (1959) tarafından ortaya atılmıştır. Roberts (1959) tarafından yayınlanan çalışmada, EWMA çizelgesinin (başlangıçta geometrik hareketli ortalama çizelgesi olarak adlandırılmıştır) Shewhart çizelgesi ile diğer basit hareketli ortalama çizelgelerinin ortalama çalışma sürelerini karşılaştırılmıştır.⁵ Bugün, ilgilenilen özelliklerin kontrolü ile kaliteyi sağlamak için geliştirilmiş çok sayıda kontrol çizelgesi mevcuttur. Kontrol çizelgelerinin ana fikri, ilgilenilen özellikte meydana gelen değişimin mümkün olan en kısa zamanda tespit edilmesidir. Bu anlamda kontrol çizelgeleri bir değişimi hızlı algılamak için tasarlanmıştır.⁶ Kontrol çizelgelerinin popülerliği,

- Verimliliği artırmak için kanıtlanmış bir tekniktir,
- Kusur önleme konusunda etkilidir,
- Gereksiz süreç düzeltmelerini önler,
- Tanısal bilgi sağlar,
- Sürecin yeteneği hakkında bilgi sağlar,

nedenlerinden kaynaklanmaktadır.⁷ Kontrol çizelgelerinin fonksiyonları ise;

Süreç değişimini zaman içinde tespit etmek ve izlemek için istatistiksel kolaylık sağlar,

- Sürecin sürekli kontrolü için bir araç sağlar,
 - Yerel veya yönetim eylemi için bir rehber olması amacıyla, yaygın varyasyon nedenlerinden özel olarak farklılaşır,
 - Daha yüksek kalite, daha düşük maliyet ve daha yüksek etkin kapasite elde etmek için tutarlı ve öngörülebilir bir performans sergilemek için bir sürecin geliştirilmesine yardımcı olur,
 - Süreç performansını tartışmak için ortak bir dil olarak hizmet eder,
- şeklinde sıralanmaktadır.⁸ **ARL** (Average Run Length) kontrol çizelgelerinin performanslarının değerlendirilmesinde popüler bir ölçüdür. **ARL**, süreç kontrol dışı ilan edilmeden önce yani veri üretme işlemi gerçekte kontrol altında iken ortalama “nokta” sayısıdır ve kontrol çizelgesinin yanlış alarm vermesinden önceki beklenen süreyi göstermektedir. ARL_0 ve ARL_1 notasyonları sırasıyla sürecin kontrol altında ve kontrol dışında olduğunu göstermek üzere kullanılmaktadır. İki çizelge arasındaki karşılaştırmalar için çizelgelerin ARL_0 değerleri sabitlenmekte ve ARL_1 değerleri karşılaştırılmaktadır. Daha küçük ARL_1 değerlerine sahip grafikler daha üstün kabul edilmektedir.⁹

SAĞLIK HİZMETLERİNDE KONTROL ÇİZELGELERİ

Sağlık hizmetlerinde kalite her zaman büyük bir endişe kaynağıdır. Çünkü sağlık hizmetlerinde kötü kalite, hastaların yaşamı veya ölümü açısından bir fark yaratabilir. Kalite ile ilgili çok fazla ilgilenilmemesine rağmen bu sektörde yatırım sürekli büyümektedir.¹⁰ Kontrol çizelgeleri, çalışma çizelgeleri, neden-sonuç şemaları, Pareto çizelgeleri ve süreç akış şemaları bir sağlık kuruluşundaki bakım ve hizmet kalitesini etkileyen yapıları ve süreçleri tanımlamak ve analiz etmek için temel araçlardır. Bunların temel amacı kurumların veriye ve geçerli çıkarımlara dayalı eylemde bulunmasına yardımcı olmaktır.¹¹ Sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi, bakım ve hizmet sunumu süreçlerinde değişiklik yapılmasını gerektirir. Her ne kadar bu değişikliklerin istenen yararlı etkilere sahip olup olmadığını belirlemek için süreç performansı ölçülse de, bu analiz doğal değişimin varlığıyla karmaşıklaşmaktadır. Geleneksel istatistiksel analiz yöntemleri, doğal varyasyonu açıklamakta, ancak zaman içinde ölçümlerin toplanmasını gerektirmekte, bu da karar vermeyi geciktirebilmektedir. Kontrol çizelgeleri verileri hızlı ve açık bir şekilde karar vericiler için kolay anlaşılır hale getirir.¹² Shewart'ın 1920-30 yıllarında yaptığı çalışmalar ve Deming'in 1950'lerde yaptığı katkılar ile ortaya çıkan istatistiksel süreç kontrolü, sağlık hizmetleri ve halk sağlığı surveyansında daha yakın zamanda uygulanmaya başlanmıştır. İstatistiksel süreç kontrolü, tıp literatüründe büyük ilgi uyandırmış ve "tıpta kalite" perspektifinden detaylı bir açıklamaya tabi tutulmuştur.¹³ Kontrol çizelgeleri en az 50 yıldır tıp alanında kullanılmaktadır. CUSUM teknikleri ise son 35 yıldır tıp alanında kullanılmakta olup, Williams ve ark. (1992), tarafından CUSUM'un tıp alanında kullanılması önerilmiştir. De Leval ve ark. (1994), cerrahi performansı izlemede, Nix ve ark. (1986), klinik kimyada, Gallus ve ark. (1986), ise nadir konjenital malformasyonları izlemek için CUSUM prosedürlerini kullanmışlardır. CUSUM çizelgesi her prosedürden sonra güncellenebilir, bireysel olarak cerrahlar için sonuçlara uygulanabilir ve performansın gerçek zamanlı izlenmesi için bir yöntem sağlar.¹⁴ EWMA çizelgeleri son on yıldır sağlık sektöründe düzenli olarak kullanılmaktadır. Literatürde acil servis, epidemiyoloji, radyoloji, kardiyoloji, pulmoner ve farmasötik gibi bölümlerde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Suman ve Prajapati (2018) tarafından yapılan çalışmada, tıpta farklı alanlarda kontrol çizelgelerinin kullanımı ile ilgili çalışmalardan bahsedilmektedir. Bu çalışmalarda dikkate alınan değişkenler ölüm ve hastalık oranları, hizmet kullanımı, yoğun bakım ünitesinde kalma süresi, hasta memnuniyeti ve güvenliği, ameliyat öncesi ve sonrası komplikasyon oranları, hastanedeki enfeksiyon sayısı, bekleme süreleri düşme/yaralanma sayısı, acil servise başvuran hasta sayısı, sezaryenli doğum sayısı, reperfüzyon süresi, mortalite oranı, akut öncesi ve sonrası komplikasyonların sayısı, 30 günlük mortalite oranı, hastaların hastanede kalış ve kabul süreleri, çocuk acil servisine anormal hastaların ulaşım süresi, yoğun bakım ünitesinde koroner arter bypass greft mortalitesi, günlük cerrahi hastalık ve mortalite, baypass süresi, cerrahi alan enfeksiyonu oranı ve 30 günlük mortalite, tedavi sonrası kanser tespit oranındaki değişim, enfeksiyon oranı, bin hasta başına düşen hastane enfeksiyonu sayısı, enfeksiyon kontrol konsültasyon sayısı ve süresi, hastaneye bağlı enfeksiyonlar, 1000 hasta günü metisiline dirençli Staphylococcus Aureus enfeksiyonları, 100 gözlem başına el hijyeni, floroskopi süresi ve dijital görüntü sayısı, ventilatörle ilişkili pnömoni hızı, ilaç şişelerinin ağırlığı, şişelerdeki şurup miktarı, ilaç tabletlerinin ağırlığı vb. biçiminde sıralanabilir.^{10,15} Kalite kontrol çizelgeleri özellikle olumsuz olayların takibinde kullanılmaktadır. Deming tarafından sağlık hizmetlerinde olumsuz olayları izlemek için kontrol çizelgelerinin kullanılması önerilmiştir. O zamandan beri çok çeşitli uzmanlık alanlarında kalite kontrol ve kalite iyileştirme ile ilgili araştırmalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Olumsuz olayları izlemek ve hasta güvenliğini iyileştirmeye yönelik girişimlere rehberlik etmek için klinik pratikte çizelgelerin uygulanmasına karşı güçlü bir ilgi söz konusudur.¹⁶ Bazı kuruluşlar tarafından yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen, kontrol çizelgeleri rutin sağlık hizmeti sunumunda kalite ve güvenliği izlemek için hala yaygın olarak kullanılmamakta, zaman serisi çizelgeleri, klinik ekipler tarafından performanslarını izlemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Çünkü klinik düzenlemelerde hangi

çizelgenin kullanılacağına dair belirsizlik bu durum için bir engel olarak belirtilmektedir. Yöntemler hakkında geniş bir literatür olmasına rağmen çizelgelerin sistematik olarak karşılaştırıldığı az sayıda çalışma bulunmaktadır.¹⁷

ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ

İlk kez Roberts (1959) tarafından ileri sürülen EWMA çizelgesi, günümüzde pratikte çok sayıda uygulamada kullanılan en popüler kontrol çizelgelerinden biridir. EWMA çizelgesinin uygulanması basittir ve küçük değişimleri tespit etmek için Shewhart çizelgesinden daha etkili olduğu kabul edilmiştir.¹⁸ Roberts (1959) tarafından önerilen yönteme göre Z_t , $t=0, 1, 2, 3, \dots$ olmak üzere zamana bağlı geometrik hareketli ortalama değerini gösterebilir. μ_0 , kontrol çizelgesinde hedeflenen değeri göstermek ve $Z_0 = \mu_0$ olmak üzere t zamanı için ortalama,

$$Z_t = (1 - w)Z_{t-1} + wX_t, \quad 0 < w \leq 1 \quad (1)$$

eşitliği kullanılarak belirlenir.¹⁹ Eşitlikte yer alan t gözlem numarasını yada zaman indeksini göstermektedir. w ağırlık katsayısı ise her bir gözlem değerinin (X_t) önemini belirlemektedir. w 'nin değeri büyüdükçe ve son gözlem değerleri küçüldükçe ilk gözlem değerleri önemli hale gelmektedir. Z_0 başlangıç değeri genellikle hedeflenen değer olarak alınır. Z_t 'nin kontrol limitleri tarafından belirlenen aralığın dışında kaldığı durumlarda sürecin kontrolden çıktığı ve harekete geçilmesi gerektiği söylenir. Dolayısıyla,

$$E(Z_t) = \mu_0 \quad (2)$$

ve

$$Var(Z_t) = \frac{w}{2 - w} [1 - (1 - w)^{2t}] \mu_0 \quad (3)$$

eşitlikleri kullanılarak kontrol limitleri kolay bir şekilde hesaplanabilir.²⁰ EWMA kontrol çizelgesinde, t periyoduna karşı Z_t grafiği çizilmektedir. EWMA için merkez çizgisi μ_0 'a eşittir ve kontrol limitleri,

ÜST Kontrol Limiti = UCL

$$= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{w}{2 - w} [1 - (1 - w)^{2t}]} \quad (4)$$

Merkez Çizgisi = CL =

$$\mu_0 \quad (5)$$

$$\text{Alt Kontrol Limiti} = LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{w}{2 - w} [1 - (1 - w)^{2t}]} \quad (6)$$

eşitlikleri ile tanımlanır.²¹ Merkez çizgisi (CL), kontrol altında olan bir süreç için sürece ait değerlerin, etrafında rasgele dağılacığı bilinen (veya tahmin edilen) değeri ifade etmektedir. Eşitliklerde yer alan L faktörü kontrol limitlerinin genişliğini σ ise süreç standart sapmasını göstermektedir. Zaman ilerledikçe, yani t 'nin değeri büyüdükçe $[1 - (1 - w)^{2t}]$ terimi 1'e yaklaşır. Bundan dolayı kontrol limitleri ile ilgili eşitlikler,

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{w}{2 - w}} \quad (7)$$

$$CL = \mu_0 \quad (8)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{w}{2-w}} \quad (9)$$

biçiminde yazılabilir. Bir sürecin kontrol altında olup olmadığının nasıl belirleneceği önemli bir sorundur. UCL'nin üzerinde ve LCL'nin altında kalan tüm noktalar sürecin kontrol dışı olabileceğini göstermektedir. Ancak, kontrol limitlerinin hedef değerden/ortalamadan ne kadar uzaklıkta olacağı ile ilgili kesin bir belirleyici bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu limitler birbirine yaklaştıkça, iyi bir sürecin kontrol dışı olarak tanımlanma olasılığı da yüksek olacaktır. İyi bir sürecin durdurulmasından kaçınmak için, alt ve üst kontrol limitlerinin ortalamadan genellikle $\pm 3\sigma$ olarak yerleştirildiği kabul edilir.²² Her bir gözlem değerine karşı EWMA istatistiğinin değeri grafikte çizilmekte ve kontrol dışı sinyalleri tespit etmek için limitler kullanılmaktadır.²³ Z_t değerinin üst kontrol limitinin üstünde yada alt kontrol limitinin altında olması sürecin kontrol dışılığı için bir kriter olarak kullanılmaktadır. Bir çizelgenin kontrol dışı olduğunun belirlenmesi için gerekli olan minimum süre, durdurma (alarm) süresi olarak tanımlanır. EWMA için alarm zamanı,

$$\tau = \inf\{i > 0 : Z_i > UCL \text{ or } Z_i < LCL\} \quad (10)$$

olarak gösterilir.²⁴ Ardışık olarak kaydedilen gözlemler, süreçten ayrı ayrı gözlenen değerler (X_t) olabilir. Bununla birlikte, bunlar genellikle belirlenmiş bir örnekleme planından elde edilen örnek ortalamalarıdır. Burada w mevcut gözleme atanan ağırlıktır ve düzeltme sabiti olarak adlandırılır. w , EWMA kontrol çizelgesinin hassasiyet parametresi olarak da görülebilir, yani küçük w değerler için EWMA çizelgesi küçük değişimlere daha duyarlı hale gelirken, büyük w değerleri için EWMA çizelgesi orta dereceli değişimlere daha hassas hale gelir. EWMA kontrol çizelgesi normal dağılıma sahip olmayan verileri işlemek için diğer çizelgelere göre daha uygundur ve zaman içinde gerek gözlem değerlerini gerekse aykırı değerleri düzeltirdiği için eğilimleri vurgular.²⁹ Bir kontrol tablosundaki EWMA istatistiği, üretim süreci hakkında karar vermek için mevcut ve geçmiş bilgileri kullanır. Geçmiş bilgilerin ağırlığı düzeltme sabitiyle (w) kontrol edilir.²⁵ EWMA çizelgesi, sonraki dönemde gözlem değeri ile ilgili tahminlerde de kullanılabilir. Bu da analistlere sürecin kontrol dışı durumdan çıkışlara başlamadan önce önleyici tedbirler almasına yardımcı olabilir. EWMA çizelgesini kullanmanın diğer bir avantajı da otokorelasyonlu veya normal dağılıma sahip olmayan gözlemler için iyi bir performansla sahip olmasıdır.²¹ EWMA kontrol çizelgesi, mevcut ve geçmiş örnekleme noktalarından gelen verilerin ağırlıklı ortalamasını çizmeye dayanmaktadır. Geçmişteki gözlem değerlerine göre mevcut gözlem değerine verilen ağırlık, ağırlıklandırma veya düzeltme parametresi (w) ile belirlenir. w değerinin küçük olduğu durumda EWMA çizelgesi, küçük parametre değişimlerini algılamak için Shewhart çizelgesinden çok daha etkilidir. Ancak, EWMA çizelgesinde w değerinin küçük olması durumunda, değişimden önceki ve değişimden sonraki verilerin ortalaması kullanıldığı için ani olarak ortaya çıkacak büyük bir değişim hızlı bir şekilde belirlenemeyecektir. Bu durum EWMA çizelgesi için potansiyel bir dezavantajdır. Sonuç olarak kontrol içi veriler değişim etkisinin maskelenmesi eğilimindedir. Bir EWMA çizelgesinde ek bir potansiyel problem EWMA istatistiğinin, değişim meydana geldiğinde dezavantajlı bir konumda olabilmesidir. Örneğin, bir süreç parametresinde yukarı doğru bir değişim olduğunda EWMA istatistiği, değişimden hemen önce alt kontrol limitinin yakınında olabilir ve bu durumda EWMA istatistiğinin üst kontrol limitine ulaşması nispeten uzun bir zaman alabilir. Bu ikinci problem genellikle EWMA çizelgesinin "atalet problemi" olarak adlandırılır.²⁶

ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

Yukarıda anlatılan EWMA yönteminin uygulaması, yapay bir veri kümesi kullanılarak Tablo 1'de gösterilmiştir. Z_t değerlerinin tahmin edilmesinde $Z_0=52$ ve $w=0.3$ değerleri, alt ve üst kontrol limitlerinin elde edilmesinde ise $L=3$ ve $\sigma=1.97$ değerleri kullanılmıştır.

TABLO 1: EWMA çizelgesi ile ilgili uygulama.

t	\underline{X}_t	\underline{Z}_t	$\underline{X}_t - \underline{Z}_t$	LCL	UCL
1	52.00	52.00	0.00	50.23	53.77
2	47.00	50.50	3.50	49.84	54.16
3	53.00	51.25	1.75	49.67	54.33
4	49.30	50.67	1.36	49.59	54.41
5	50.10	50.50	0.40	49.55	54.45
6*	47.00	49.45	2.45	49.54	54.46
7	51.00	49.91	1.09	49.53	54.47
8	50.10	49.97	0.13	49.52	54.48
9	51.20	50.34	0.86	49.52	54.48
10	50.50	50.39	0.11	49.52	54.48
11	49.60	50.15	0.55	49.52	54.48
12*	47.60	49.39	1.79	49.52	54.48
13	49.90	49.54	0.36	49.52	54.48
14	51.30	50.07	1.23	49.52	54.48
15*	47.80	49.39	1.59	49.52	54.48
16	51.20	49.93	1.27	49.52	54.48
17	52.60	50.73	1.87	49.52	54.48
18	52.40	51.23	1.17	49.52	54.48
19	53.60	51.94	1.66	49.52	54.48
20	52.10	51.99	0.11	49.52	54.48

*Alarm zamanı

UYARLANMIŞ ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ

Genel olarak istatistiksel süreç kontrolünde gözlem değerlerinin karşılıklı bağımsız oldukları varsayılmaktadır. Ancak bu varsayım genellikle uygulamada ihlal edilmektedir. Bu nedenle, Patel ve Divecha (2011) tarafından uyarlanmış EWMA kontrol çizelgesi geliştirilmiştir. Patel ve Divecha (2011)'e göre uyarlanmış EWMA kontrol çizelgesi için \underline{Z}_t değerleri $Z_0 = X_0 = \mu$ (süreç ortalaması) olmak üzere,

$$\underline{Z}_t = (1 - w)\underline{Z}_{t-1} + wX_t + (X_t - X_{t-1}), \quad 0 < w \leq 1 \quad (11)$$

eşitliği ile alt ve üst kontrol limitleri ise,

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{w}{2-w} + \frac{2w(1-w)}{2-w}} \quad (12)$$

$$CL = \mu_0 \quad (13)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{w}{2-w} + \frac{2w(1-w)}{2-w}} \quad (14)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Uyarlanmış EWMA çizelgesinin kullanılmasının avantajı, otokorelasyonlu veya normal dağılıma sahip gözlemler için iyi bir performansa sahip olmasıdır.²⁷

TABLO 2: Uyarlanmış EWMA çizelgesi ile ilgili uygulama.

t	X_t	Z_t	LCL	UCL	$Z_{t-Adaptive}$
1	5.22	5.01	4.96	5.04	5.23*
2	4.95	5.01	4.95	5.05	4.74*
3	5.20	5.01	4.94	5.06	5.26*
4	5.41	5.03	4.93	5.07	5.24*
5	5.20	5.04	4.93	5.07	4.83*
6	5.02	5.04	4.92	5.08	4.86*
7	5.11	5.04	4.92	5.08	5.13
8	5.26	5.05	4.91	5.09	5.20*
9	5.27	5.06	4.91	5.09	5.07
10	3.83	5.01	4.90	5.10	3.57*

*Alarm zamanı

UYARLANMIŞ ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

Yukarıda anlatılan EWMA yönteminin uygulaması, yapay bir veri kümesi kullanılarak Tablo 2’de gösterilmiştir. Z_t değerlerinin tahmin edilmesinde $Z_0=5$ ve $w=0.04$ değerleri, alt ve üst kontrol limitlerinin elde edilmesinde ise $L=3$ ve $\sigma=0.3$ değerleri kullanılmıştır.

$Z_{t-Adaptive}$ için kontrol limitleri, $UCL=5.13$, $CL=5.00$, $LCL=4.87$ ’dir.

PARAMETRİK OLMAYAN ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ

Kalite kontrol çizelgeleri genel olarak, kalite karakteristiğinin normal dağılım veya iyi bilinen herhangi bir olasılık dağılımına sahip olduğu varsayımı altında oluşturulmaktadır. Bu varsayımın sağlanmadığı durumlarda kontrol çizelgesine güvenilmez. Bu durum, parametrik olmayan/dağılımdan bağımsız istatistik tabanlı kontrol çizelgelerinin kullanımını gerektirir.²⁸ Yang, Lin ve Cheng (2011), işaret istatistiklerine dayanan parametrik olmayan bir EWMA çizelgesi önermişlerdir. Yönteme göre X kalite karakteristiğinin, T hedeflenen değere sahip olduğu varsayılın ve $Y = X - T$ ve $p = P(Y > 0)$ olsun. Eğer süreç kontrol altında ise $p=0.5$ ’dir. Süreç hedefinden sapma değiştiği için süreç kontrol dışında ise o zaman $p = p_1 \neq 0.5$ olacaktır. Herhangi bir zamanda süreç hedefinden olan sapmayı izlemek için, X karakteristiğine ait her bir örnek için X_1, X_2, \dots, X_n ile ifade edilen gözlem değerleri alınsın. $j = 1, 2, \dots, n$ için,

$$Y_j = X_j - T \text{ ve } I_j = \begin{cases} 1, & \text{eğer } Y_j > 0 \\ 0, & \text{diğer durumlar için} \end{cases} \quad (15)$$

tanımlansın. M değeri $Y_j > 0$ toplam sayısını göstere. Kontrol altındaki bir süreç için $M = \sum_{j=1}^n I_j$ değeri, $(n, 0.5)$ parametreleri ile Binom dağılımına sahiptir. EWMA işaret kontrol çizelgesi, M_t ardışık t değerleri için, $Y_t(> 0)$ sayısını göstermek üzere,

$$EWMA_{M_t} = (1 - w)EWMA_{M_{t-1}} + wM_t \quad 0 < w \leq 1 \quad (16)$$

eşitliği ile elde edilir. $EWMA_{M_0}$ başlangıç değeri $n/2$ ’dir. EWMA işaret çizelgesinin alt ve üst kontrol limitleri ise,

$$UCL = n/2 + k \sqrt{\frac{w}{2-w}} (n/4) \quad (17)$$

$$CL = n/2) \quad (18)$$

$$LCL = n/2 - k \sqrt{\frac{w}{2-w}} (n/4) \quad (19)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir.²⁹ Küçük ve orta büyüklükte örneklem için Binom dağılımı asimetriktir. Dolayısıyla elde edilecek tahmin değerleri makul değerler olmayacaktır. Bu olumsuzluğu gidermek için $Y = \sin^{-1}(\sqrt{M/n})$ dönüşümü uygulanmalıdır. Arcsin dönüşümlü EWMA işaret kontrol çizelgesi,

$$EWMA_{Y_i} = (1-w)EWMA_{Y_{i-1}} + wY_i \quad 0 < w \leq 1 \quad (20)$$

eşitliği ile elde edilir. $EWMA_{Y_0}$ başlangıç değeri $\sin^{-1}(\sqrt{0.5})$ 'dir. Arcsin EWMA işaret çizelgesinin alt ve üst kontrol limitleri ise,

$$UCL = \sin^{-1}(\sqrt{0.5}) + k \sqrt{\frac{w}{2-w}} (1/4n) \quad (21)$$

$$CL = \sin^{-1}(\sqrt{0.5}) \quad (22)$$

$$LCL = \sin^{-1}(\sqrt{0.5}) - k \sqrt{\frac{w}{2-w}} (1/4n) \quad (23)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir.³⁰

PARAMETRİK OLMAYAN ÜSSEL AĞIRLIKLIL HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

Yukarıda anlatılan parametrik olmayan EWMA yönteminin uygulaması, $n=10$ boyutunda on beş örneğe ait gözlem değerleri için yapay bir veri kümesi kullanılarak **Tablo 3**'de gösterilmiştir. $EWMA_{M_t}$ değerlerinin tahmin edilmesinde $EWMA_{M_0} = 5$, $EWMA_{Y_i}$ değerlerinin tahmin edilmesinde $EWMA_{Y_0} = 0.79$, $T=0$ ve $w=0.05$ değerleri, alt ve üst kontrol limitlerinin elde edilmesinde ise $k=2.49$ değerleri kullanılmıştır.

TABLO 3: Uyarlanmış EWMA çizelgesi ile ilgili uygulama.

Örnek	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	M	$EWMA_{M_t}$	$EWMA_{Y_i}$
1	2.5	0.5	2	-1	1	-1	0.5	1.5	0.5	-1.5	7	5.10	0.80
2	0	0	0.5	1	1.5	1	-1	1	1.5	-1	6	5.15	0.80
3	1.5	1	1	-1	0	-1.5	-1	-1	1	-1	4	5.09	0.79
4	0	0.5	-2	0	-1	1.5	-1.5	0	-2	-1.5	2	4.93	0.78
5	0	0	0	-0.5	0.5	1	-0.5	-0.5	0	0	2	4.79	0.76
6	1	-0.5	0	0	0	0.5	-1	1	-2	1	4	4.75	0.76
7	1	-1	-1	-1	0	1.5	0	1	0	0	3	4.66	0.75
8	0	-1.5	-0.5	1.5	0	0	0	-1	0.5	-0.5	2	4.53	0.74
9	-2	-1.5	1.5	1.5	0	0	0.5	1	0	1	5	4.55	0.74
10	-0.5	3.5	0	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	1	0.5	3	4.47	0.73
11	0	1.5	0	0	2	-1.5	0.5	-0.5	2	-1	4	4.45	0.73
12	0	-2	-0.5	0	-0.5	2	1.5	0	0.5	-1	3	4.38	0.72
13	-1	-0.5	-0.5	-1	0	0.5	0.5	-1.5	-1	-1	2	4.26	0.71
14	0.5	1	-1	-0.5	-2	-1	-1.5	0	1.5	1.5	4	4.25	0.71
15	1	0	1.5	1.5	1	-1	0	1	-2	-1.5	5	4.28	0.71

$EWMA_{M_t}$ için kontrol limitleri, $UCL=5.63$, $CL=5.00$, $LCL=4.37$ ve $EWMA_{Y_t}$ için kontrol limitleri, $UCL=0.85$, $CL=0.78$, $LCL=0.72$ 'dir.

ÇOKDEĞİŞKENLİ ÜSSEL AĞIRLIKLI HAREKETLİ ORTALAMA ÇİZELGESİ

Çoğu klinik izleme durumunda birden fazla kalite özelliğinin takip edilmesi gerekmektedir. Her bir kalite özelliği için ayrı ayrı tek değişkenli grafiklerin kullanılması durumunda değişkenler arasındaki korelasyon göz ardı edildiği için genel olarak yanlış alarm olasılığı büyüyebilir. Bu gibi durumlarda çok değişkenli kontrol çizelgeleri dikkate alınmalıdır.³¹ Çokdeğişkenli üssel ağırlıklı hareketli ortalama kontrol çizelgesi Lowry ve ark. (1992) tarafından önerilmiştir. X_t bağımsız p -değişkenli kalite özellikleri vektörleri olmak üzere X_t . $p \times 1$ boyutlu μ_0 ortalama vektörü ve $p \times p$ boyutlu Σ varyans kovaryans matrisi ile çokdeğişkenli normal dağılıma sahip olsun. Bu durumda $t = 1, 2, \dots$ için Z_t .

$$Z_t = (I - W)Z_{t-1} + WX_t \quad (24)$$

$$Z_0 = 0.$$

$I = p \times p$ boyutlu birim matris.

$$W = \text{diag}(w_1, w_2, \dots, w_p). \quad 0 < w_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, p.$$

eşitliği ile tahmin edilir.^{32,33}

SONUÇ

Analistlerin kullanabilecekleri çok sayıda kontrol çizelgesi bulunmaktadır. Uygun kontrol çizelgesinin seçimi analiz edilen verinin tipine, verinin davranışına ve modelleme için kullanılan olasılık dağılımına bağlıdır. Uygun çizelge seçimi çoğu zaman uygulayıcılar için zordur ancak elde edilecek anlamlı sonuçlar için doğru seçim önemlidir.³⁴ Shewhart çizelgesi bir süreçteki değişimin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Shewhart çizelgesinin ana dezavantajı yalnızca birleştirilmiş sürece ait son bilgiyi kullanması, dolayısıyla tüm gözlem değerlerinden elde edilen süreci görmezden gelmesidir. Bu özellik Shewhart kontrol çizelgelerini önceki gözlemin ağırlığını göz ardı ettiği için süreçteki küçük değişimlere duyarsız hale getirmektedir. Küçük değişimler CUSUM, EWMA ve hareketli ortalama kontrol çizelgeleri ile tespit edilebilir. EWMA çizelgesi eski verilere güncel verilere göre daha az ağırlık verilerek elde edilen ortalama değer yardımıyla sürecin izlenmesinde kullanılmaktadır. Küçük değişimleri tespit etmede etkilidir.³⁵ Veri türlerine göre değişkenler için kontrol çizelgesi ve öznitelikler için kontrol çizelgesi olmak üzere iki tip kontrol çizelgesi söz konusudur. EWMA çizelgeleri değişkenler için kontrol çizelgesi kategorisine girmektedir.¹⁰ EWMA çizelgeleri belirli bir süreçten gelen ortak varyans ile bağımsız normal gözlemler dizisinde değişimleri saptamak için sıklıkla kullanılan kontrol çizelgeleridir. Bir çizelgenin yararlılığı, süreçte ortaya çıkan değişimleri zamanında tespit etme yeteneği ile belirlenmektedir. EWMA çizelgelerinin özelliklerinin değerlendirilmesi ile ilgili literatür, çizelgenin üssel düzleştirme altında biriken değişimlerden yararlanarak değişiklikleri belirlediğini göstermektedir. Genel olarak bu kontrol çizelgesi süreçte meydana gelen büyük değişiklikleri belirleyememektedir.²⁷ EWMA kontrol çizelgelerinin uygulamada sıklıkla kullanılmasının asıl sebebi süreç parametrelerindeki küçük ve orta derecede değişimlere karşı tepki gösterecek hassas özelliklere sahip olmasıdır.³⁶ Shewhart çizelgesi süreçteki büyük değişimleri tespit etmek için etkilidir. CUSUM ve EWMA çizelgeleri ise süreç ortalaması ve/veya standart sapmasında

meydana gelen küçük ve kalıcı değişimleri tespit etmek için etkilidir.³⁷ EWMA'nın Gaussian gürültü anlamında bir değişimi belirlemede de diğer yöntemler kadar güçlü olabileceği gösterilmiştir.³⁸ EWMA'nın diğer çizelgeler arasında bir uzlaşma olarak düşünülebileceğine dikkat çekilmektedir. $w = 1$ alındığında EWMA tüm ağırlığını en son gözlem üzerine yerleştirir. Sıfıra yakın w için en son gözlem az ağırlık alır. 0 ile 1 arasında w seçimi en son gözlemin ne kadar ağırlık alacağını belirler.³⁹ w ağırlığı EWMA istatistiğinin mevcut gözlemi ve önceki gözlemleri ne kadar yansıttığını belirler. w 'nin değeri büyüdükçe son gözlem değerine daha fazla ağırlık verilir ve hızlı bir şekilde önceki gözlemler üzerinde ağırlığın etkisi azalır. Bu nedenle büyük w değerleri düzgün olmayan bir EWMA izi oluşturur. Çünkü her yeni gözlem EWMA istatistiğini daha büyük bir miktarda değiştirir. Ayrıca w 'nin değerinin büyümesi EWMA izinin değişime daha hızlı tepki vermesini sağlar.¹⁷ Tıbbi evrim ve dünyadaki artan yaşam kalitesi, yaşam süresinin uzamasına yol açmıştır. Kontrol çizelgeleri ile süreç izleme, sağlık hizmetlerinde genel bir süreç değerlendirme ve iyileştirme çerçevesi içinde önemli bir bileşendir. Kontrol çizelgeleri gerek sağlıkla ilgili verileri analiz etmek ve sunmak gerekse hasta ve hastalığın tıbbi takibi ve tedavisi için kullanılabilir yöntemlerdir. Bu nedenle bilim adamları gözlenen değerlerde meydana gelen küçük değişikliklerin daha iyi tespit edilebilmesi için alternatif teklifler sunarak kontrol çizelgelerini geliştirmektedirler. Prognostik modeller gibi kontrol çizelgeleri de kıyaslama, risk altındaki hastaların belirlenmesi, iş yükü planlaması ve hatta bireysel klinik karar verme gibi görevleri desteklemek için tıpta yararlı araçlar olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte herhangi bir uygulamaya yönelik bu tür yöntemlerin fiili kullanımı, buna güvenmeyi gerektirir ve bu güven modellerin klinik güvenilirliği ve geçerliliğinden etkilenir. Sağlık süreyansında kontrol çizelgelerinin uygulanması vurgulanmaktadır. Ancak bu araçları tam olarak değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu tekniklerin kullanımı klinik sonuçların izlenmesi açısından potansiyel olarak daha fazla dikkat gerektirmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Tasarım:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Denetleme/Danışmanlık:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Veri Toplama Ve/Veya İşleme:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Analiz Ve/Veya Yorum:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Kaynak Taraması:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Makalenin Yazımı:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan; **Eleştirel İnceleme:** İsmet Doğan, Nurhan Doğan

KAYNAKLAR

1. Mitra A. Control charts for the standard deviation. In: Ruggeri F, Kenett RS, Faltin FW, eds. Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability. 1st ed. England: John Wiley & Sons Ltd; 2007. p.1-12. [PubMed]
2. Minne L, Eslami S, de Keizer N, de Jonge E, de Rooi SE, Abu-Hanna A. Statistical process control for validating a classification tree model for predicting mortality—a novel approach towards temporal validation. J Biomed Inform. 2012;45(1):37-44. [Crossref] [PubMed]
3. Patil SH, Shirke DT. Economic design of a nonparametric EWMA control chart for location. Production. 2016;26(4):698-706. [Crossref]
4. Lu SL, Tsai CF, Chen JH. EWMA control charts for statistical detecting QoS violations. 2015 IEEE 12th International Conference on e-Business Engineering; 2015.
5. Hunter JS. The exponentially weighted moving average. J Qual Technol. 1986;18(4):203-10. [Crossref]

6. Abreu RP, Schaffer JR. A double EWMA control chart for the individuals based on a linear prediction. *J Mod Appl Stat Methods*. 2017;16(2):443-57. [[Crossref](#)]
7. Shah S, Shridhar P, Gohil D. Control chart: a statistical process control tool in pharmacy. *Asian J Pharm*. 2010;4(3):184-92. [[Crossref](#)]
8. Swarbrick J. *Encyclopedia of Pharmaceutical Technology*. 3rd ed. Vol. 6. New York: Marcel Dekker Inc; 2007. p.3503.
9. Abbas N. Homogeneously weighted moving average control chart with an application in substrate manufacturing process. *Comput Ind Eng*. 2018;120:460-70. [[Crossref](#)]
10. Suman G, Prajapati DR. Control chart applications in healthcare: a literature review. *Int J Metrol Qual Eng*. 2018;9:5. [[Crossref](#)]
11. Finison LJ, Finison KS, Bliersbach CM. The use of control charts to improve healthcare quality. *J Healthc Qual*. 1993;15(1):9-23. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
12. Benneyan JC, Lloyd RC, Plsek PE. Statistical process control as a tool for research and healthcare improvement. *Qual Saf Health Care*. 2003;12(6):458-64. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
13. Moran JL, Solomon PJ. Statistical process control of mortality series in the Australian and New Zealand Intensive Care Society (ANZICS) adult patient database: implications of the data generating process. *BMC Med Res Methodol*. 2013;13:66. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
14. Sasikumar R, Devi SB. Cumulative sum charts and its healthcare applications. *Sri Lankan J Appl Stat*. 2014;15(1):47-56. [[Crossref](#)]
15. Baldewijns G, Luca S, Nagels W, Vanrumste B, Croonenborghs T. Automatic detection of health changes using statistical process control techniques on measured transfer times of elderly. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015;2015:5046-9. [[Crossref](#)]
16. Duclos A, Voirin N. The p-control chart: a tool for care improvement. *Int J Qual Health Care*. 2010;22(5):402-7. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
17. Neuburger J, Walker K, Sherlaw-Johnson C, van der Meulen J, Cromwell DA. Comparison of control charts for monitoring clinical performance using binary data. *BMJ Qual Saf*. 2017;26(11):919-28. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)] [[PMC](#)]
18. Human SW, Kritzinger P, Chakraborti S. Robustness of the EWMA control chart for individual observations. *J Appl Stat*. 2011;38(10):2071-87. [[Crossref](#)]
19. Roberts SV. Control chart tests based on geometric moving averages. *Technometrics*. 1959;1(3):239-50. [[Crossref](#)]
20. Borror CM, Champ CW, Rigdon SE. Poisson EWMA control charts. *J Qual Technol*. 1998;30(4):352-61. [[Crossref](#)]
21. Carson PK, Yeh AB. Exponentially weighted moving average (EWMA) control charts for monitoring an analytical process. *Ind Eng Chem Res*. 2008;47(2):405-11. [[Crossref](#)]
22. Noyez L. Control charts, Cusum techniques and funnel plots. A review of methods for monitoring performance in healthcare. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2009;9(3):494-9. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
23. Saeed N, Kamal S. The EWMA control chart based on robust scale estimators. *Pakistan J Stat Oper Res*. 2016;12(4):659-72. [[Crossref](#)]
24. Areepong Y. Explicit formulas of average run length for a moving average control chart for monitoring the number of defective products. *Int J Pure Appl Math*. 2012;80(3):331-43.
25. Azam M, Aslam M, Jun CH. An EWMA control chart for the exponential distribution using repetitive sampling. *Oper Res Decisions*. 2017;27(2):5-19.
26. Reynolds Jr MR, Stoumbos ZG. Comparisons of some exponentially weighted moving average control charts for monitoring the process mean and variance. *Technometrics*. 2006;48(4):550-67. [[Crossref](#)]
27. Patel AK, Divecha J. Modified exponentially weighted moving average (EWMA) control chart for an analytical process data. *J Chem Eng Mater Sci*. 2011;2(1):12-20.
28. Haq A. A new nonparametric synthetic EWMA control chart for monitoring process mean. *Commun Stat Simul Comput*. 2018;1-12. [[Crossref](#)]
29. Abbasi SA. A new nonparametric EWMA sign control chart. *Expert Syst Appl*. 2012;39:8503. [[Crossref](#)]
30. Yang SF, Lin JS, Cheng SW. A new nonparametric EWMA sign control chart. *Expert Syst Appl*. 2011;38(5):6239-43. [[Crossref](#)]
31. Waterhouse M, Smith I, Assareh H, Mengersen K. Implementation of multivariate control charts in a clinical setting. *Int J Qual Health Care*. 2010;22(5):408-414. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
32. Lowry CA, Woodall WH, Champ CW, Rigdon SE. A multivariate exponentially weighted moving average control chart. *Technometrics*. 1992;34(1):46-53. [[Crossref](#)]
33. Zhang G, Chang SI. Multivariate EWMA control charts using individual observations for process mean and variance monitoring and diagnosis. *Int J Prod Res*. 2008;46(24):6855-81. [[Crossref](#)]
34. Woodall WH, Adams BM, Benneyan JC. The use of control charts in healthcare. In: Faltin F, Kenett R, Ruggeri F, eds. *Statistical Methods in Healthcare*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons Ltd; 2012. p.253-67. [[Crossref](#)]
35. Braimah OJ, Osanaiye PA, Omaku PE, Saheed YK, Eshimokhai SA. On the use of exponentially weighted moving average (EWMA) control chart in monitoring road traffic crashes. *Int J Math Stat Invention*. 2014;2(5):1-9.
36. Haq A. A new nonparametric EWMA control chart for monitoring process variability. *Qual Reliab Eng Int*. 2017;33(7):1499-512. [[Crossref](#)]
37. Thaga K, Sivasamy R. Single variables control charts: a further overview. *Indian J Sci Technol*. 2015;8(6):518-28. [[Crossref](#)]
38. Polunchenko AS, Sokolov G, Tartakovsky AG. Optimal design and analysis of the exponentially weighted moving average chart for exponential data. *Sri Lankan J Appl Stat*. 2014;15(2):55-82. [[Crossref](#)]
39. Duttadeka S, Gogoi B. A study on exponentially weighted moving average control chart with parametric and nonparametric approach. *J Agric Life Sci*. 2014;1(2):1-16.