

# Üretim sahasında zaman serisini kullanma

J. Stuart Hunter Princeton University

**ÇOK YÖNLÜ BİR GELİŞİMİ YÖNETEBİLMEK İÇİN, ALTI SİGMA'NIN KARMAŞIKLIĞI, ANALİZ ETME YETENEĞİNE; YALIN'IN BASİTLEŞTİRME VE SADELEŞTİRME OLANAKLARINA İHTİYAÇ VARDIR.**

Bu makale, ASQ (American Society for Quality) tarafından yayınlanan Six Sigma Forum Magazine dergisinin 2007 yılı mayıs sayısından alınarak aslına uygun olarak tercüme edilmiştir.

**A**ltı Sigma kalite mühendisleri toplu gözlemlenmiş verilerin ve zaman serilerin ardışık olarak çizildiğini sıkça görmüşlerdir. The Shewhart run grafiği bizim için çok önemli bir örnektir. Ayrıca, kalite mühendisleri aylık stokların, günlük üretim miktarlarının ve saatlik örnek analizlerin grafiklerini dikkatlice gözlemlemektedirler. Şirket hisse değerlerinin günlük kapanış değerleri her zaman ilgi noktası olmuştur.

Büyük ölçüde dikkat çeken bir nokta da kalite çalışmalarında çok önemli bir uygulama olan zaman serileri Altı Sigma mühendislerinin istatistiksel eğitimlerinin bir parçası olmamaktadır. Bu, gerçekten çok üzücü bir durum. Günümüz dünyasının hızlı hesaplama süreçlerinde bir çok sayıda değerli ve kolay uygulanabilir zaman serileri araçları mevcuttur.

Tekli gözlemler,  $y_i$ , için kullanılan Shewhart run grafiği, süreci kontrol eden bir kararlılık garantörü gibi davranmaktadır. Bu grafik özel (olağan-dışı) durumların tanımlanmasına yardımcı olur. Böylelikle, özel durumların açıklanabilir sebeplerini belirleyerek süreç iyileştirmelerine olanak sağlar.

Hangi matematiksel model Shewhart run grafiğini desteklemektedir? Sürekli veriler için grafik her bir gözlemlenen verinin  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), iki adet  $y_i$  unsurundan oluştuğunu varsaymaktadır. Birinci unsur olan  $y_i$ , sabit bir sayı olarak varsayılan ortalamanın,  $E(y)$  tahmini değeridir. Hata epsilonu olarak ifade edilen  $\epsilon_i$  Gaussian beyaz gürültü olarak ifade edilmiştir. Bir başka deyişle, normal dağılım göstererek parametreleri  $E(\epsilon_i) = 0$  ve sabit varyans olan  $\text{Var}(\epsilon_i) = \sigma^2$  dir. Kontrol grafiklerinin limitleri genellikle değerinin tahmini değeri olarak oluşturulmaktadır. Mevcut veri, bahsedilen limitlerin içinde kalıyorsa sürecimiz istatistiksel olarak kararlıdır ve sürecimize herhangi bir müdahale yapmamıza gerek yoktur sonucuna varabiliriz. İstatistiksel kararlılığa ulaşıldığında, proses yeterliliğimizi ölçen yeterlilik indeksleri güvenli bir şekilde oluşturulabilir.

## Kararlılık garanti altında mı?

Fakat bir proses her zaman gerçekten kararlı mıdır? Şimdi gözlemlediklerimiz ve  $y_t = \mu + \epsilon_t$  için başka bir model tasarlayalım. Modelde yer alan altsimgelerin “i” den “t” değiştiğini fark ettiniz mi? Alt simge “i” verinin grafikte işaretleniş sırasını belirlemekte ve verinin zaman işareti ile hiçbir ilişkisi bulunmamaktadır. Gözlemlerin sırasını değiştirebilir ve böylelikle run grafiği parametrelerinin düzenini bozmuş olursunuz.

Fakat, alt simge “t” zaman serisi için önemli olan verinin sırasını belirlemektedir. Maalesef, zaman serisi modellerinin yararları boşa harcanarak

süreç iyileştirme fırsatları ihmal edilmektedir. Eğer veriniz zaman serisi oluşturuyorsa (zamana bağlı bitişik gözlemlerden elde edilen veriler ile güçlü ilişki mevcuttur), o zaman veriniz zaman serisi gibi davranmalıdır. Bunların dışında birşey yapmak mevcut tüm bilgiyi kaybetmemize sebebiyet verir.

Modelde,  $y_t = \mu + \epsilon_t$ , yer alan t zamanındaki  $y_t$ , cevap (çıkıtı), ifadesini  $y_{t-1}$  periyodundan sonra gelen  $y_{t+1}$  takip etmektedir. Bu durumda ortalamanın,  $\mu$ , artık sabit olmadığına dikkat edilmeli fakat bunun yerine zaman içerisinde ilerlediği varsayılmalıdır. Söz konusu ilerleme trend, uzaklaşma yada dağınık şekilde dolaşma şeklinde olabilir. Copernicus'un ifade ettiği gibi, dünya yıldızların bulunduğu bir yerde sabit değil fakat dünya kendi etrafında dönmektedir. Hareketli ortalama varsayımı gözlemlenen verinin iki elemanının olduğunu ifade etmektedir:

- Birinci eleman,  $\mu$ , ölçüm ve örneklemeden ileri gelmektedir. Eğer zamanı durdurabilir ve gözlemlenenleri alırsanız veri değişkenliği gözlemlenebilir.
- İkinci eleman, ortalamayı ilerleten sisteme gelen şoklardan kaynaklanmaktadır.

Dolayısıyla, ortalamayı,  $\mu_t = \mu + \epsilon_t$ , hedefin,  $\mu$ , sabit ve şokun  $\epsilon_t$  olacak şekilde ayarlarız. Ortalamının hareket etme nedeni:

- Birçok şoklar sürekli olarak ortalamayı yeni bir düzeye iten dişli çark mandalı gibi hareket etmektedirler (toplu hammadde veya personel değişimi).
- Zaman içinde diğer şoklar ortalamayı yavaş yavaş değiştirirler (çözücünün yavaş yavaş zayıflaması gibi).
- Diğer şoklar dinamik olarak hareket eder ve etkileri t zamanında gelir ve gider (hava değişimi).

Yeni modelimizde,  $\mu_t$  lerin parametrelerinin ölçüm ve örnekleme hatalarının parametreleri olan  $E(\epsilon_t) = 0$  and  $\text{Var}(\epsilon_t) = \sigma^2$  ile benzer olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca, rastgele şokların ikincisi olan  $\epsilon_t$  lerin parametreleri  $E(\epsilon_t) = 0$  ve  $\text{Var}(\epsilon_t) = \sigma^2$  dir.  $\mu_t$  ler ve  $\epsilon_t$  ler birbirinden bağımsızdır.  $\mu_t$  ler küçük olmasına karşın ( $\sigma^2 < \sigma^2$ ), ortalamayı hareket ettirmektedirler. George Box'un uyun bir şekilde ifade ettiği gibi “ $\mu_t$ ’nin sopası.”<sup>1, 2</sup>

## Hareketli Ortalama

Kesinlikle tüm süreçler zaman içinde değişirler. Sürecin hedef değerden 1.5 standard sapma kaymasına izin veren Altı Sigma spesifikasyonun içerisinde hareketli ortalama kavramı kesinlik arz etmektedir. Dolayısıyla  $y_t = \mu + \epsilon_t + \epsilon_t$  modeli çok uygun bir modeldir.

Şimdi: “Ortalama hareket halinde iken hangi istatistiksel araç faydalı olduğunu kanıtlamaktadır?” İyi ve sağlıklı bir cevap tüm geçmiş verileri kullanırken katlanma modele (exponential model) uymayan geçmişte gözlemlenen verilere **ağırlık veren basit bir zaman serisi istatistiği olan ağırlıklı katlanarak hareket eden ortalamadır** (the exponentially weighted moving average (EWMA)). EWMA, tabiki, Shewart run  $y = \mu + \epsilon_t$  modelinde kullanılabilir. Fakat EWMA'nın özel kullanımını, zaman serisi içindeki kendi uygulamalarından ileri gelmektedir.

Shewhart run kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli husus geçmiş veriden elde edilen tahmini değişkenlik hem  $\sigma$ 's hemde  $\mu$ 's içerebilir. Böylelikle, Shewhart run kontrol limitleri verilerin birleşmiş ve daha büyük değişkenliğini yansıtacaktır. Sonuç olarak, Shewhart run kontrol limitleri içeren bir süreç istatistiksel olarak kararlı ve süreç ortalaması hala hareket halinde olabilir. Ortalamada yaşanan hareket kalitenin düşmanıdır.

**EWMA'yi nasıl hesaplarız?** Örneğin, süreç ortalamamız  $\mu_0 = 80$  (muhtemelen hedef değer  $\mu = 80$ ) ve söz konusu ortalamayı, birinci gözlemin tahmini değeri olarak kullanmaktasınız. Farzedelim,  $y_1 = 82$ . O zaman, sizin süreç ortalamasına,  $\mu_1$ , ilişkin tahmininiz nedir? Bir başka deyişle,  $t = 2$  zamanda, sonraki gözlem için tahmininiz nedir?

Eğer gerçekten ortalamamızın sabit olduğuna inanırsan, o zaman sonraki gözlem için tahminin  $\mu_0 = 80$  olacaktır. Gözlemdaki bilgi için sıfır ağırlık değeri verilmektedir. Ya da  $\mu_0$  değerini dikkate almayabilir ve  $y_1 = 82$  gözlem değerini tahmin edilebilecek en iyi ortalama ve en iyi tahmin olarak kullanabilirsin. (W. Edward Deming'in hunisini hatırlıyor musunuz?)

Bir başka yol ise, uzlaşmacı olarak mevcut gözlemden biraz bilgi ödünç alır ve bu bilgiyi kendi tahminiyle birleştirirsin. Kısacası, EWMA hesaplaması yapılıdır. Çok kolay. Şimdi %40 lık bilgiyi

kendisinin %60 lık tahmini ile birleştiririm. O zaman  $t = 1$  zamanda ortalama değer için sizin en iyi tahmininiz ve sonuçta sonraki gözlem için oluşturulan tahmin  $(0.4) * 82 + (0.6) * 80 = 80.8$  olacaktır.

Sembolleri kullanacak olursak, diyelim ki,  $y_t$  ( $y$  tilda),  $t$  zamanda ortalamamızın en iyi tahmini değeri ve  $\hat{y}_{t+1}$  ( $y$  şapka  $t + 1$ ) ise  $t + 1$  zamanı için en iyi tahmin değeri olsun. Böylelikle, **EWMA**  $= y_t = \hat{y}_{t+1}$  olur. Daha ayrıntılı yazacak olursak, **EWMA**  $= y_t = y_t + (1 - \alpha) \hat{y}_t = \hat{y}_{t+1}$ . EWMA'nın parametresi  $\alpha$  durağan/sabit olmayan süreçleri ölçmektedir. ( $0 < \alpha < 1$ ).

Bu örnekte,  $\alpha = 0.4$ ,  $y_1 = 80$ , ve  $y_1 = 82$ . Biz bugünün %40'lık gözlemlerini aldık ve 80.8'i elde etmek için söz konusu gözlemleri bugünün tahminin %60'lık kısmıyla birleştirdik. İkinci gözlem  $y_2 = 84$  olduğunda, o zaman  $y_2 = (0.4) * 84 + (0.6) * 80.8 = 82.08 = y_3$  olmaktadır. Diyelim ki  $y_3 = 81$ , o zaman  $y_3$ 'ün değeri nedir?, örneğin,  $y_4$ ? Cevap? 81.648.

EWMA'nın değişkenliği (birkaç ilk gözlemden sonra)  $[\alpha / (2 - \alpha)]^2$  değerine sabitlenmiştir.  $\alpha = 0.4$  ile, EWMA'nın değişkenliği  $2/4$  ve böylelikle standart hatası (error)  $\sigma_{EWMA} = \sqrt{2}$  olmaktadır. Birçok yazılım programı  $y_t$  ve  $y_t$  ile beraber ikisinin 3 sigma kontrol limitlerine ilişkin grafiklerini hızlı bir şekilde çizebilmektedir.

## EWMA ile Hedefte Kalmak

Süreç ortalamasını hedefte tutmak için eylemde bulunmak gerektirmektedir. Deming'in ifade ettiği gibi; “Veri toplamanın esas amacı eylem için bir platform oluşturmak yada tavsiyede bulunmaktır. eylem için ta The ultimate purpose of collect ing data is to provide a basis for action, or a recommendation for action. Veri toplama ile eylem arasındaki ara adım tahmindir.”<sup>3</sup>

(Kolanları okuyunuz)									
-0.22	-0.04	-0.03	-0.11	0.14	-0.02	0.25	0.26	0.23	0.09
0.06	0.10	0.19	-0.17	-0.02	0.16	0.26	0.12	0.10	0.15
-0.04	0.11	0.21	-0.10	0.16	0.24	0.23	0.15	0.12	0.05
0.11	0.12	0.02	0.13	0.06	0.29	0.34	0.34	-0.02	0.13
-0.02	0.28	0.18	0.01	0.23	0.34	0.24	0.07	0.10	0.22
0.11	0.19	0.02	0.00	0.09	0.24	0.14	0.20	0.28	-0.09
0.12	0.19	0.00	0.10	0.05	0.31	0.41	0.16	0.12	0.03
0.14	0.08	-0.10	-0.17	0.23	0.26	0.36	0.07	0.08	0.12
0.04	0.17	-0.08	0.09	0.10	0.38	0.29	0.00	0.11	0.03
0.04	0.09	0.11	-0.04	0.14	0.29	0.13	0.08	0.04	0.12

Tablo-1: Hedeften,  $z_t = y_t - \mu$ , 100 sapma

Altı Sigma araç kitindeki EWMA'nın rolü kesindir. Şu anda süreç hedef değerinin,  $\mu$ , kalite dünyasında sabit olan tek şey olduğunu biliyoruz. Buna ek olarak söz konusu  $\mu$  değerinden uzakta olmak her zaman maliyetlidir. EWMA hareketli ortalamamızın lokasyonunu tahmin etmektedir. Eğer EWMA'nın tahmini, hedef değerinden çok uzakta ise söz konusu süreç için harekete geçilmelidir. (“kontrol”ü oku)

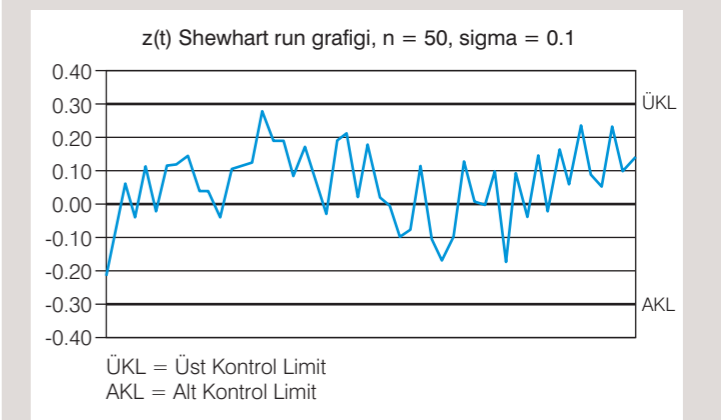
Modern endüstriler, süreçteki hedef kaymalarını dengelemek için otomatik süreç kontrol mekanizmaları kullanmasına karşın, süreci hedefte tutabilmek için hala operatörlere ihtiyaç duymaktadır. Sınai olmayan sektörlerde, hizmet süresi için bir tahminde bulunabilir yada bir cevap verebilirsiniz. Fakat hizmet süresini kontrol etmek için insana gereksinim vardır.

**EWMA ve Box-Jenkins** bounded adjustment grafiğini tanımak için bir örnek yapalım. Tablo 1'deki hedef değerden,  $z_t = y_t - \mu$ , sapan 100 adet veri bulunmaktadır. Gözlemlenen ilk 50 verinin geçmişteki kayıtlardan alındığı düşünülürse, söz konusu veriler kullanarak Shewhart run grafiğini oluşturunuz. Şekil 1 de yer alan verinin grafiği, trend eğilimi göstermektedir ki bu da bize olası

hareketli ortalama,  $\mu$ , için bir göstergedir. Bunun gibi veriler için literature,  $\mu$ 'ü tahmin etmek için hareketli aralık istatistiği olan (moving range statistic) MR kullanmamızı önermektedir. MR, ardışık gözlemlerin birbirleri arasındaki farkın mutlak değerlerinin toplamının 1.128'e bölünmesiyle elde edilmektedir,  $d_t = |y_t - y_{t-1}| / 1.128$ . Burada,  $MR = (0.1159) / (1.128) = 0.1028 = \hat{\mu}$ . Hedeften sapan 50 veri için çizilen Shewhart run grafiği Şekil 1 de gösterilmektedir. Hiçbir nokta 3 sigma kontrol limitlerinin dışına çıkmamaktadır.

Western Electric kurallarını kullanarak, çizilen grafikteki noktalardan gelecek sinyallere bakabiliriz (3 dışında bir nokta, 3

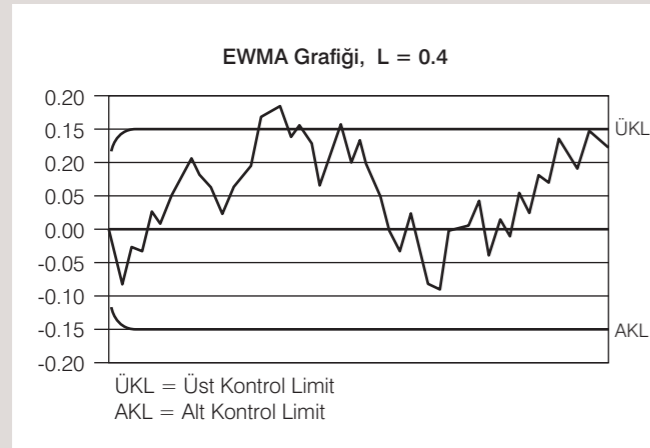
Şekil-1: Shewhart Run Grafiği: Hedeften,  $z_t = y_t - \mu = 0.10$ , 50 sapma



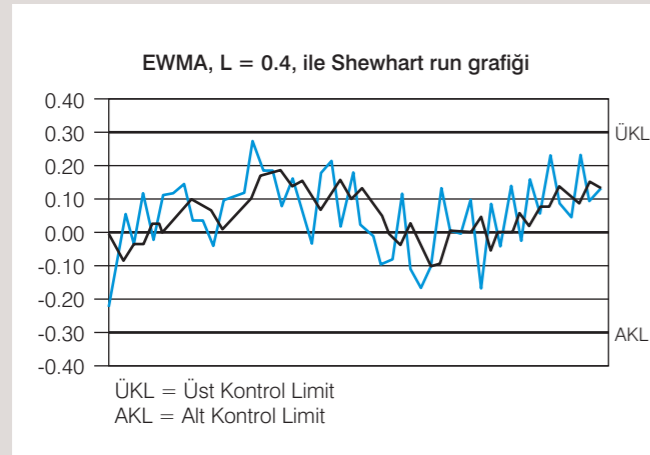
Zaman (t)	EWMA	$z_t$
1	(0.000)	-0.22
2	-0.044	+0.06
3	-0.023	-0.04
4	-0.027	+0.11
5	-0.001	-0.02
6	-0.002	

Tablo-2: EWMA hesaplaması,  $\lambda = 0.4$   
 $\hat{y}_{t+1} = \hat{y}_t + (\hat{y}_t - \hat{y}_t)$

Şekil-2: EWMA run grafiği,  $\lambda = 0.4$ ,  $EWMA = 0.05$



Şekil-3:  $z_t$  için yardımcı grafik ve EWMA,  $\lambda = 0.4$



noktanın 2'si 2 dışında, 5 noktanın 4'ü 1 'nın dışında, 8 nokta merkez doğrunun bir tarafında). En son verileri içeren diğer kurallar da mevcuttur. Söz konusu olan kurallar uygulama açısından baş belasıdır ve hepsi zaman bağılı veri içermektedir. Şimdi,  $\lambda = 0.4$ , olarak EWMA kullanabiliriz. Bu EWMA Western Electric 5 numaralı kuralında tariflendiği gibi geçmiş verileri de ihtiva etmektedir.

Tablo 2 birkaç hesaplamayı göstermektedir ve Şekil 2/ EWMA 'nın  $\lambda = 0.4$  ile beraber üst ve alt kontrol limitlerinin grafiğini ortaya koymaktadır.  $t = 16$  ile  $18$  noktalarında çizilen EWMA, ortalamamın hedeften sapmasının istatistiksel olarak sıfırdan farklı olduğunu ileri sürmektedir. Geleneksel olarak, söz konusu olay açıklanabilir nedenler için bir araştırma ortaya çıkartabilirdi. Başka bir seçenek olarak,  $t = 16$  to  $18$  zamanlarında ya da ona yakın değerlerde, operatör sürece müdahale edip bazı ayarlamalar yaparak ortalamayı hedef değere çekebilirdi-yani kontrol faaliyetinde bulunabilirdi. Tabii ki, bu birçok eylemi olası kılmakta ve belirli bir  $t$  zamanda aynı zaman periyodu aralığında,  $\lambda$ , uygulanabilir kontrol faktörü olan  $X$  değiştirilebilirdi.

Hedef  $z_t$  değerinden gerçek sapmalar ve onlara ilişkin EWMA (mavi çizgi) Şekil 3 te tekrar çizilmiştir.

### Dizginleri Ele Almak

Herhangi bir kontrol faktörü olan  $X$  kullandığımızı hayal edersek her bir EWMA değerinin sıfıra eşit olması zorunlu hale gelir. Kontrolde sonra açığa çıkan hedeften sapmalar Şekil 4 de bulunan Shewhart run kontrol grafiğinde ortaya konulmuştur. Uygulamada ortalamadaki  $\lambda$ , hareket ortadan kaldırılmış ve hedefteki değişkenlik azaltılmıştır.

Herbir gözlemlenen veriden sonra operatörü süreci kontrol etmesi/ayarlama yapması için tutmak hayalci bir yaklaşımdır. Hedeften küçük sapmalar hem doğal hemde beklenmektedir ve asıl tehlike aşırı kontrol faaliyetiyle ortalamadaki küçük değişimi kovalarken sürece değişkenlik ilave etmektir. Daha iyi bir çözüm önerisi ise Box and Jenkins bounded control grafiğidir. Bu grafikte EWMA tahmini gösterilmekte fakat ayarlama için yapılan faaliyete sadece tahminler belirli sınırları aştığı zaman geçilmektedir. 6

Söz konusu sınırlar süreç sahibi tarafından konulmuş olabilir. Örneğin, süreç yöneticisi, süreç tahminleri %5 'i aştığı zaman veya hedeften %3 daha düşük olduğu zaman ayarlamalara/değişikliklere izin verebilir. Sınırları kararlaştırmak için kullanılabilir örnekleme maliyeti, kontrol eyleminin kendisi ve hedeften uzaklaşılacak zaman gibi bir takım araçlar bulunmaktadır. 7

Şimdi, bir sonraki 50 veri için sınırları belirtilmiş control grafiği oluşturmak için Tablo 1 de yer alan hedef gözlemlerden  $z_t$  sapan ilk 50 verinin sağladığı bilgiyi kullanalım.  $\lambda$  'nın değerini ne seçmeliyiz? Yukarıdaki örnekte,  $\lambda = 0.4$  seçilmişti çünkü o zaman EWMA, Western Electric kurallarına çok benzer geçmiş bir veriyi kullanmıştı.

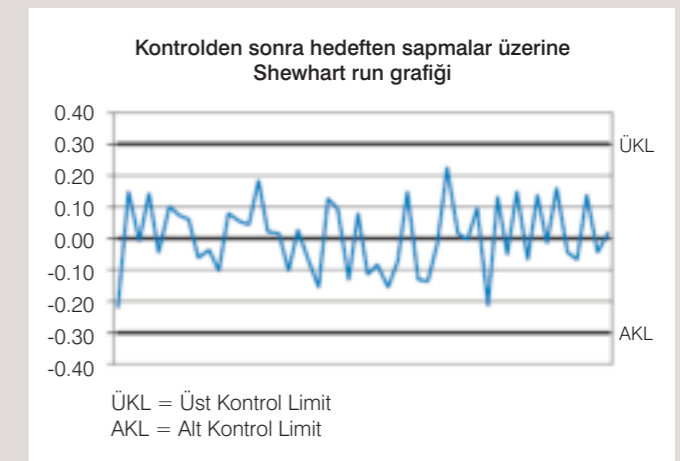
Fakat,  $\lambda$  tahmini değerini elde etmek için geçmiş 50 veriyi inceleyelim. Gelecek tahminler için en iyi  $\lambda$  tahmini  $\lambda = 0.2$ . Kısacası,  $\lambda$  gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın en küçük kareleri toplamını vermektedir.  $T=50$  zamanında, hedef değer sıfıra göre süreç sapması için birinci tahminini gerçekleştirir ve  $\lambda = 0.10$  seçerek ve sınırları  $\pm 0.10$  olarak belirle. EWMA için hesaplamalar ve control eylemleri için istenenler Tablo 3'te verilmiştir.

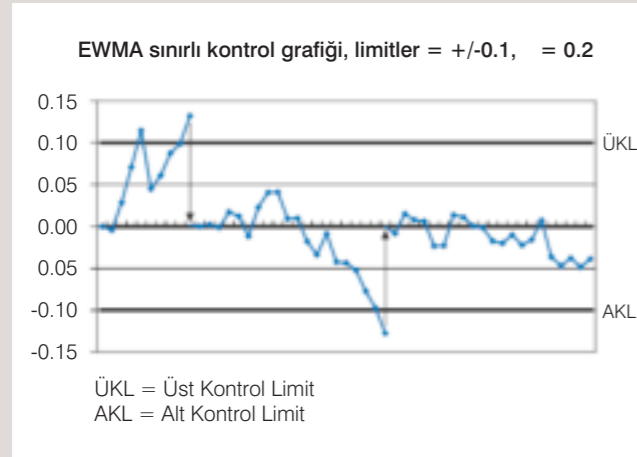
Dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise, her ne zaman EWMA tahmini sınırları aşarsa sıfıra yönelik bir düzeltme yapılmaktadır. Söz konusu düzeltme sonraki tüm gözlemleri değiştirmekte-

Zaman t	Orijinal gözlem z(t)	Yeni gözlem e(t)	Tahmin EWMA = 0.2	Toplam gerekli olan ayarlama
51	-0.02		0.0000	<b>0.0000</b>
52	0.16		-0.0040	
53	0.24		0.0288	
54	0.29		0.0710	
		Yeni gözlem	<b>0.1148</b>	<b>-0.1148</b>
55	0.34	0.2252	0.0000	
56	0.24	0.1252	0.0450	
57	0.31	0.1952	0.0611	
58	0.26	0.1452	0.0879	
59	0.38	0.2652	0.0993	
		Yeni gözlem	<b>0.1325</b>	<b>-0.2473</b>
60	0.29	0.0427	0.0000	
61	0.25	0.0027	0.0005	
62	0.26	0.0127	0.0030	
63	0.23	-0.0173	-0.0011	
64	0.34	0.0927	0.0177	
65			0.0127	

Tablo-3: Sınırlı kontrol grafikleri için hesaplamalar

Şekil-4: EWMA,  $\lambda = 0.4$  düzeltilmesinden sonra hedeften sapmalar





Şekil-5: The Box-Jenkins Sınırlı Kontrol Grafiği,  $\lambda = 0.2$ , Sınırlar  $\pm 0.10$

dir. Şekil 5, her ne zaman EWMA sınırları aşarsa, eylem alınmış faaliyeti ortaya koyan EWMA grafiğini göstermektedir.

Shewhart run grafiği hala hayati bir rol oynamaktadır.

Eğer control eylemleri uygunsa, hedeften yeni sapmaların rastlansal yaklaşık ortalama değeri sıfır ve sabit varyanstır, yani istatistiksel olarak kararlıdır. Söz konusu yeni sapmalarda Shewhart run grafiği kullanılması kontrol sürecinde yapılabilecek hataların hızlıca açığa çıkmasına yardımcı olacaktır.

Buna ek olarak olağandışı olaylar üzerinde yapılacak araştırma ile süreç iyileştirilmesine olanak tanıyan açıklanabilir nedenlerin bulunmasında yol gösterici olacaktır. Ayrıca, düzeni bozan karışıklıkların kaynağını ortaya koyan zamana bağlı olarak geliştirilmiş  $X_t$  control faaliyetlerinin grafiği de bulunmaktadır.

Zaman serisi, Altı Sigma kalite mühendisinin alışılmış eğitiminin bir parçası değildir. Teknik olarak konuşursak, yukarıdaki örnekteki EWMA, bir sıra için uygulanan bütünleştirilmiş hareketli ortalama modelidir. Buda birçok azalan bütünleştirilmiş hareketli ortalama zaman serisi modelirine benzemektedir. Söz konusu modeller tahminde bulunmak, dinamikleri tariflemek, faktörler ve cevaplar/çıktılar arasındaki transferleri izah etmek ve periyodik olarak yapılan faaliyetleri kayıt altına almak için kullanılmaktadır.

Zaman serileri kalitedeki amaçları geliştirmek için çok zengin fırsatları içermektedir. İyi ki, günümüzün bilgisayar yazılımları zaman serileri hesaplamalarını kolaylaştırmaktadır. Altı Sigma uygulayıcıları için eyleme geçme zamanı geldi.

## Referanslar

1. G.E.P Box, "Feedback Control by Manual Adjustment," Quality Engineering, Vol. 4, No. 1, 1991, pp. 143-151.
2. G.E.P Box, "Bounded Adjustment Chart," Quality Engineering, Vol. 4, No. 2, 1991, pp. 333-340.
3. W. Edwards Deming, "On a Classification of the Problems of Statistical Inference," Journal of the American Statistical Assn., Vol. 37, No. 218, June 1942, pp. 173-185.
4. G.E.P Box and Alberto Luceno, Statistical Control by Monitoring and Feedback Control, Wiley, 1997.
5. J. S. Hunter, "The Box-Jenkins Bounded Manual Adjustment Chart," Quality Progress, August 1998, pp. 129-133.
6. G.E.P Box, G.M. Jenkins and G.C. Reinsel, Times Series Analysis, Forecasting and Control, third edition, Prentice Hall, 1994.
7. G.E.P Box and Alberto Luceno, Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment, Wiley, 1997.