

## KALİTE FONKSİYON GÖÇERİMİNDE MARKOV ZİNCİRLERİ: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

İrfan ERTUĞRUL\*, Esra AYTAÇ\*\*

### ÖZET

Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG), müşteriye tatmin etmeyi ve müşterinin talep ettiklerini tasarım hedeflerine ve üretim sırasında kullanılacak başlıca kalite güvence noktalarına dönüştürmek amacıyla tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntemin bir aşaması, müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu çalışmada ilişkinin modellenmesi için Markov zincirlerinden yararlanılmış ve otomotiv sektöründe otomobil sahiplerinin isteklerine yönelik otomobil tasarımı için kalite fonksiyon göçerimi uygulanmıştır. Bu anlamda Markov zincirlerinin temelinde bulunan olasılık ve geçiş matrisleri yardımıyla müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki, beklenen değerler bazında değerlendirilmiş ve teknik gereksinimlerin gelecekte farklı dönemlerde alacağı değerler gözlemlenerek bir analiz yapılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** *Kalite Fonksiyon Göçerimi, Markov Zincirleri, Geçiş Matrisleri*

### MARKOV CHAINS IN QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT: AN EXAMPLE OF AUTOMATIVE SECTOR

#### ABSTRACT

Quality function deployment (QFD) is a method that aims satisfying customers and improving design quality for transforming customer requirements into design targets and quality assurance points that used during production. First step of this method determines the relationship between customer requirements and the technical requirements. Because of the uncertainty of quality by its nature, Markov chains are used for modeling the relationship correctly and applied to quality function deployment for the requirements of automobile owners at automobile industry. In this basis the relationship between customer requirements and the technical requirements is evaluated on the expected value base by means of probability and transition matrices which are the basic of Markov chains. An analysis is made by observing the value of technical requirements through different time periods.

**Keywords:** *Quality Function Deployment, Markov Chains, Transition Matrices*

---

\* Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler A.B.D., Denizli, E-posta: iertugrul@pamukkale.edu.tr

\*\* Pamukkale Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler A.B.D., Denizli, E-posta: eaytac@pamukkale.edu.tr

## **GİRİŞ**

Günümüzde küreselleşen rekabetçi dünyada daha yüksek katma değer yaratan organizasyonlar ayakta kalabilmektedir (Ertuğrul ve Aytaç, 2007). Bir işletme, ürettiği ürün ya da hizmetler, müşteri beklenti ve ihtiyaçlarını rakip işletmeye göre daha iyi karşıladığı sürece başarılı olmaktan ve başarılı kalmaktan söz edebilmektedir. Bu nedenle birçok işletme, iş yapış biçimini gözden geçirmek zorundadır (Sakallı ve Birgören, 2006). Bu anlamda Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG); müşteriyi tatmin etmek ve müşteri taleplerini tasarım hedeflerine ve üretim sırasında kullanılacak başlıca güvence noktalarına dönüştürmek amacıyla tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir (Yenginol, 2000).

KFG, ilk kez 1966 yılında Yoji Akao tarafından Japonya'da ortaya atılan bir yönetim metodu olup tüketicinin satın almak istediği ürün/hizmetlerin tasarımı, üretimi ve pazarlanması amacıyla, organizasyon içindeki beceriler üzerinde yoğunlaşarak gerekli eşgüdümü sağlayan bir dizi planlama ve iletişim süreçlerinden oluşan sistematik bir yaklaşımdır (Doğan, 2000).

KFG yöntemi ile müşterilerin daha iyi anlaşılması, müşteri tatmininde artış, tasarım optimizasyonu, maliyetlerde düşüş ve verimlilik artışı, zaman tasarrufu ve daha düşük geliştirme zamanı, firma içi iletişimde artış ve örgütsel yararlar, gelirden artış, artan ürün kalitesi ve güvenilirliği, rekabet üstünlüğü, dokümantasyon sistemi oluşturulması gibi yararlar amaçlanmaktadır (Ertuğrul ve Aytaç, 2006b). KFG, yeni ürün/hizmet tasarımı ve sunumu, mevcut bir ürünün geliştirilmesi, yatırım planlama konusunda öncelikli alanların belirlenmesi, proses yönetimi uygulamalarının birçok alanı, teknoloji yönlendirmeli mühendislik çalışmaları, politika yönetiminde önceliklerin belirlenmesi gibi işletme faaliyetlerinin çeşitli aşamalarında uygulanabilmektedir (Ertuğrul, 2004).

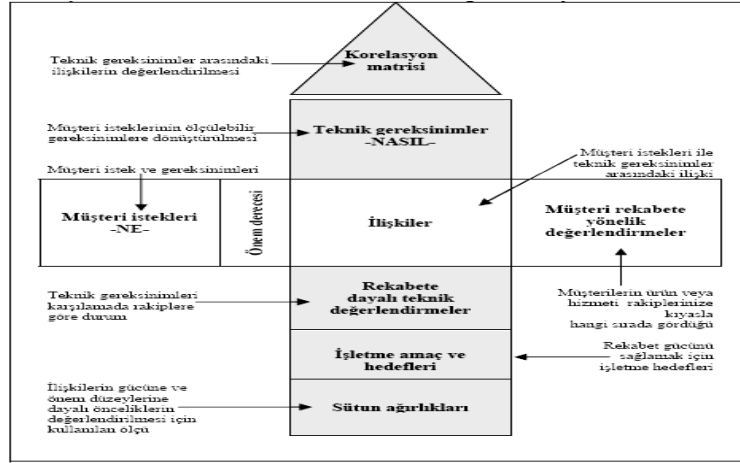
KFG, dört matrisin (müşteri gereksinimleri matrisi, ürün karakteristikleri göçerim matrisi, proses ve kalite kontrol matrisi ve operasyon talimat matrisi) birleşiminden oluşmaktadır (Bottani ve Rizzi, 2006). Müşteri gereksinimleri matrisi, genellikle kalite evi olarak bilinmektedir. Şekil 1'de, bir kalite evi görülmektedir (Savaş ve Ay, 2005). Kalite evi hazırlanırken izlenen adımlar şöyle olmaktadır:

- İlk adım, müşteri gereksinimlerinin oluşturulmasıdır. Müşteri gereksinimleri, matrisin "NE" ler kısmında yer alır (Savaş ve Ay, 2005) ve KFG sürecinde "ne" gerçekleştirileceğini gösterir.
- İkinci adım, müşteri beklentilerinin mühendislik aşamasında kullanılabilecek teknik tanımlara dönüştürülmesidir. Teknik

## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

gereksinimler matrisin "NASIL" kısmını oluşturmakta ve "NE" lere "NASIL" ulaşılacağını ifade etmektedir.

- Üçüncü adım, ilişki matrisinin oluşturulmasıdır. Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler belirlenirken matrisin her hücrenin 'neyi'- 'nasıl' etkilediği sorusu sorularak bu işleme başlanır (Güllü ve Ulcay, 2002). Kalite evinde ilişki matrisinin amacı, her bir müşteri gereksinimini karşılayacak olan önemli teknik gereksinimlerin belirlenmesi ve bir sonraki aşamada yüksek öneme sahip tüketici gereksinimlerini üretime taşımak için kuvvetli ilişkiye sahip teknik gereksinimlerden yararlanmaktır (Savaş ve Ay, 2005).
- Dördüncü adım, kalite evinin çatısını oluşturan teknik korelasyonların belirlenmesi ve analiz edilmesidir. Bu matris, mühendislik analizleri ve deneyim ile NASIL'lar arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkilerin uzantısını belirler (Chan ve Wu, 2005).



Şekil 1: Kalite Evi

**Kaynak:** Savaş, H. ve Ay, M. (2005). Üniversite Kütüphanesi Tasarımında Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi Dergisi, 7 (3), s. 85.

- Son adım ise rekabet matrislerinin (müşteri ve teknik bazlı rekabet matrisleri) oluşturulmasıdır. Rekabet matrisleri, işletmenin kendi ürünü ile rakiplerinin ürünleri arasında kıyaslama yapabilmesini sağlar (Güllü ve Ulcay, 2002).

KFG sürecinde daha önce de bahsedildiği gibi, müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında bir ilişki kurulması

## İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç

gerekmektedir. Bu adımda karar vericiler, subjektif duygulardan ve deneyimlerden kaynaklanan belirsizlik ile sıkça karşı karşıya gelmektedirler (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2007). Bu belirsizlik genelde, doğal olayın belirsizliğinden veya temel değişkenin akla gelmeyen değişim kaynağından ortaya çıkar. Bu değişkenliğe nitel olarak yaklaşımdan ziyade, onu matematiksel model haline dönüştürerek nicel olarak incelemek doğru olmaktadır (Öztürk, 2005).

Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasında ilişki kurulmasında etkili olan KFG takımının, gerçekte sınırlı bilgi ve tecrübe nedeniyle uygun ilişkileri tam olarak ve doğru biçimde belirlemesi zordur. Başka bir deyişle teknik dil ile sosyal dili birleştirme gereği, KFG yönteminin dezavantajları arasındadır (Öter ve Tütüncü, 2001). Bununla birlikte kalite kavramı, doğasında subjektiftir ve insan değerlendirmesine bağlı olduğunda, anlamında çokluğa yol açabilir (Ertuğrul ve Aytaç, 2006a). Kalitenin doğasında bulunan bu belirsizliği ortadan kaldırmak amacıyla literatürde KFG'yi diğer yöntemlerle birleştiren çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerin başında bulanık küme teorisi gelmektedir. Khoo ve Ho (1996), bulanık kalite fonksiyon göçerimi (FQFD) sistemi -burada "müşterinin sesi" hem dilsel hem de kesin değişkenler için ifade edilebilir- için bir çerçeve tanıtmıştır. Vanegas ve Tabib (2001), KFG'nin optimum hedeflerine karar vermek için yeni bir yöntem önermiş ve yargılardaki belirsizliği modelleyebilmek için bulanık sayıları kullanarak müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi modellemeye çalışmıştır. Fung, Chen ve Tang (2005), KFG'nin planlama aşaması için fonksiyonel ilişkileri tahmin etmek için bulanık doğrusal regresyonu önermiştir.

Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak KFG'de müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkilerin modellenenbilmesinde Markov zincirlerinin kullanılmış, bu konuda Wu ve Shieh (2006) tarafından önerilen yaklaşım, otomobil sahiplerinin isteklerine yönelik KFG'ye uygulanmıştır. Müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri analitik hiyerarşi süreci ile belirlenirken, teknik gereksinimlerin önem dereceleri ve bunların müşteri gereksinimleri ile olan ilişkileri Markov zincirleri yardımıyla modellenmeye çalışılmıştır.

Bu bağlamda çalışmanın ikinci bölümünde Markov zincirlerine ve bunlara ilişkin işlemlere değinilmiştir. Üçüncü bölümde; KFG yönteminde Markov zincirinin kullanılmasına ilişkin metodoloji verilmiş ve modelin otomotiv sektöründe uygulamasına ilişkin bir örnek gösterilmiştir. Sonuç bölümünde ise, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

### MARKOV ZİNCİRİ

Markov zincirleri, dinamik ve stokastik sistemlerin analizinde ve özellikle bir sistemin zaman boyunca içinde bulunabileceği farklı durumlar arasında yaptığı hareketlerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan modellerdir (Dağdeviren, Eraslan ve Kurt, 2007). Başka bir deyişle bir Markov zinciri, Markov sürecinin özel bir durumudur ve belirli stokastik sistemlerin uzun ve kısa dönemdeki davranışlarını modellemek için kullanılır (Wu ve Shieh, 2006). Uygulamada birçok süreç, bu modele uymakta ve dolayısıyla da Markov analizi, olasılık modelin önemli bir türünü oluşturmaktadır. Bu anlamda Markov süreci, bir olasılık sürecidir ve gelecekteki olayların bir durumunu içerir.

Markov süreçlerinin temel özelliği, belirli bir zaman diliminde çeşitli durumlarda bulunmanın ve bir durumdan diğer duruma geçişin olasılıklarının göz önüne alınmasıdır (Rüzgar, 2003). Markov zincirlerinin en önemli elemanı, sistemin zaman içerisinde bulunabileceği tüm olası durumların listesidir. Markov zincirlerinde, bir sistemin sonlu sayıda olası durumu vardır. Markov süreci durumlarının evreni eğer kesikli ise, Markov süreci kesik zamanlı stokastik süreç denir ve buna, Markov zinciri adı verilir (Ching, Fung ve Ng, 2002). Sistemin belli bir  $t$  anında içinde bulunabileceği tüm durumlara ait olasılıklar, boyutlu bir vektör ile gösterilir. Bu vektöre, durum olasılık vektörü adı verilir (Aytemiz ve Şengönül, 2004).

Markov yapısına sahip olan bir sistemin  $k$  olay sonra içinde bulunacağı durum, sadece şu an içinde bulunduğu duruma bağlıdır ve geçmiş olaylar sırasında içinde bulunduğu durumlardan bağımsızdır (Dağdeviren vd., 2007).  $t_0 < t_1 < \dots < t_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ), zaman eksenindeki noktaları göstermek üzere,  $\{\xi\}$  rastgele değişkenler ailesi,  $\xi_{t_0}, \xi_{t_1}, \dots, \xi_{t_n}$  'nin tüm mümkün değerleri için,

$$P\{\xi_{t_n} = x_n | \xi_{t_{n-1}} = x_{n-1}, \dots, \xi_{t_0} = x_0\} = P\{\xi_{t_n} = x_n | \xi_{t_{n-1}} = x_{n-1}\} \quad (1)$$

şeklinde verilen süreçler; Markov özelliğine sahip olması halinde, bir Markov sürecidir.

$$P_{x_{n-1}, x_n} = P\{\xi_{t_n} = x_n | \xi_{t_{n-1}} = x_{n-1}\} \quad (2)$$

olasılığı ise geçiş olasılığı diye adlandırılır (Taha, 2000).

Geçiş olasılığı matrisi, verilen bir durumdan gelecekte bir durumda bulunmanın koşullu olasılığını gösterir.  $p_{ij}$ ;  $i$  durumundan gelecekte  $j$

## İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç

durumunda olmanın koşullu olasılığını göstermek üzere aşağıda geçiş olasılıkları, matris yardımıyla gösterilmiştir (Render ve Stair, 1991).

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ p_{m1} & \dots & \dots & \dots & p_{mn} \end{bmatrix}$$

Markov zincirlerinin en önemli varsayımlardan biri, tek adımda geçiş matrisinin zaman içerisinde değişmediği varsayımdır.  $p_{ij}$  olasılıklarının,

$$\sum_j p_{ij} = 1, \quad \text{tüm } i\text{'ler için}$$

$$p_{ij} \geq 0, \quad \text{tüm } i \text{ ve } j\text{'ler için}$$

koşullarını da sağlaması gerekir.

Daha önce de belirtildiği gibi her adımda zincir, bir durumdan diğerine verilen geçiş olasılıkları ile geçebilir. Bu yüzden süreç, adım adım belirli durumlar boyunca yayılır (Aaltonen ve Östermark, 1998). Bazı sistemlerde belli bir andan sonra durum olasılık vektörünün artık değişmediği görülmektedir. Sistemin uzun dönem analizlerine olanak sağlayan bu duruma denge durumu (steady state) denir (Aytemiz ve Şengönül, 2004). Bir Markov zincirinin  $P$  ve  $\{a_j^{(0)}\}$ ları verildiğinde, belirli sayıda geçiş yaptıktan sonra, sistemin kesin olasılıkları için;  $\{a_j^{(n)}\}$ ,  $n$  geçiş sonra sistemin  $n$ 'deki kesin olasılığı ise  $\{a_j^{(0)}\}$  cinsinden  $\{a_j^{(n)}\}$  genel ifadesi ve  $P$ , şu şekilde belirlenir:

$$a_j^{(1)} = a_1^{(0)} p_{1j} + a_2^{(0)} p_{2j} + a_3^{(0)} p_{3j} + \dots = \sum_i a_i^{(0)} p_{ij} \quad (3)$$

Aynı zamanda

$$a_j^{(2)} = \sum_i a_i^{(1)} p_{ij} = \sum_i \left( \sum_k a_k^{(0)} p_{ki} \right) p_{ij} = \sum_k a_k^{(0)} \left( \sum_i p_{ki} p_{ij} \right) = \sum_k a_k^{(0)} p_{kj}^{(2)} \quad (4)$$

olup buradaki  $p_{kj}^{(2)} = \sum_i p_{ik} p_{ij}$  iki adımlı ya da ikinci dereceden geçiş olasılığıdır. Bu olasılık, sistemin  $k$  halinden  $j$  haline iki tam geçişle gitmesinin olasılığıdır. Buradan,

$$a_j^{(n)} = \sum_i a_i^{(0)} \left( \sum_k p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \right) = \sum_i a_i^{(0)} p_{ij}^{(n)} \quad (5)$$

## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

sonucu çıkarılır. Bu ifadedeki  $p_{ij}^{(n)}$ , n adımlı veya n. derece geçiş olasılığı olup,

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-1)} p_{kj} \quad (6)$$

yineleme formülü ile verilir. Genel olarak tüm i ve j'ler için

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-m)} p_{kj}^{(m)}, \quad 0 < m < n \quad (7)$$

olur. Bu denklemler, Chapman Kolmogorov denklemleri olarak bilinmektedir (Taha, 2000).

Markov zincirleri literatürde; tasarım, optimizasyon, kuyruk kuramı uygulamaları, güvenilirlik çalışmaları, planlama, işgücü tahminlemesi, pazar payı tahminleri, performans analizleri, alacak yönetimi, hisse senedi fiyat değişimleri gibi konularda kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde Markov zincirlerinin, kalite yönetiminde de kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir; Saccucci ve Lucas (1990), oluşturulan kontrol şemalarının ARL'lerini (average run length), Markov zincirleri ile hesaplamıştır. Ayrıca Fua, Spiringa ve Xieb (2002), Aparisi ve Diaz (2007), Serel ve Moskowitz (2008), sürecin varyansını ve ortalamasını gözlemlemek için kullanılan üstel hareketli ağırlıklı ortalama istatistiği (EWMA) ile oluşturulan kontrol şemalarının ARL'lerini Markov zincirlerini kullanarak hesaplamıştır. Aparisi ve Diaz (2007), asimetric kontrol limitleri ile EWMA kontrol şemalarının ARL'sini hesaplamak için Markov zincirlerine dayanan bir prosedür önermiştir.

Bununla birlikte, EWMA şemalarının parametrelerinin araştırılması, bir optimizasyon problemi olarak düşünülerek, genetik algoritmalarla çözülmüştür. Genetik algoritmalar ile elde edilen sonuçlar, oldukça yeterli bulunmuş ve elde edilen EWMA kontrol şemaları kontrol-kontrol dışı bölgeleri boyunca belirlenen tüm gerekleri karşılamıştır. Serel ve Moskowitz (2008) yaptıkları çalışmalarla, optimal örneklem büyüklüğü azaldıkça, kaymanın habercisi olarak ortalamanın ve/veya varyansın arttığını ve kalite kayıp katsayılarının yüksek değerlerinin, daha kısa örneklem aralığına yol açtığını göstermiştir. Yang ve Yu (2007), değişken örneklem aralıklarına (VSI) ilişkin EWMA kontrol şemaları oluşturmuş ve önerilen kontrol şemasının performansını Markov zinciri yaklaşımı ile ölçmüştür. Önerilen model, doğru olmayan ayarlamalarla otomobil fren sistemi örneğine uygulanmış ve önerilen VSI EWMA kontrol şemaları, süreç kaymalarını daha etkin bir şekilde belirlemiştir. Magalha, Costab ve Netoc (2006), uyarlamalı  $\bar{X}$  ve R şemaları geliştirmişler ve bu şemaların özelliklerini, Markov zinciri yaklaşımını kullanarak oluşturmuşlardır.

## İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç

Yapılan uygulama örneği, değişken parametrelili kontrol şemalarının, sabit parametrelili kontrol şemalarından daha gelişmiş istatistiksel performansla sonuçlandığını göstermiştir. Lin ve Chou (2007), uyarlamalı kontrol şemalarının performans göstergelerini Markov zincirleri yaklaşımı ile hesaplamışlardır. Yaptıkları uygulamalarda, değişken parametreleri için hazırlanan  $\bar{X}$  kontrol şemaları, diğer uyarlamalı kontrol şemalarından, normal dağılımın olmaması durumunda küçük proses kaymalarında daha etkin olmuş ve bu şemalarda yanlış ikazların sayısı da azalmıştır. Ho, Medeiros ve Borges (2007), alternatif bir model olarak değişkenler için online gözlem sürecinde normal dağılım ve dağılım parametrelerinin değişmesini, iki durumlu Markov süreçleri ile tanımlanmasını önermişlerdir. Lam, Li, Ip ve Wong (2006), minimum toplam beklenen maliyet için optimalite denklemlerini, Bayes yaklaşımı ve Markov karar süreci ile formüle edip, optimal karar kurallarının kontrol limit yapısına sahip olacağını göstermişlerdir. Chen (2007), çok değişkenli kontrol şemalarından biri olan Hotelling  $T^2$  şemasında bir maliyet modeli geliştirebilmek için Markov zincirlerini ve genetik algoritmaları kullanmıştır. Değişken örneklem aralığı ve orijinal  $T^2$  şemaları, birim zamanda beklenen maliyet bazında karşılaştırılmış ve değişken örneklem aralığının daha etkin bir sonuç verdiği görülmüştür. Makis (2008), tek değişkenli şema tasarımının sınırlılıklarını ortadan kaldırmak için oluşturulan Bayes kontrol politikasını, Markov karar süreci çerçevesinde formüle etmiş ve toplam beklenen maliyeti minimize etmek için kullanmıştır. Çok değişkenli kontrol şemaları ile  $\chi^2$  kontrol şemalarının maliyet karşılaştırmalarında Bayes kontrol şemaları, oldukça maliyet etkin çıkmıştır. Wu ve Shieh (2006) ve Wu ve Shieh (2007), kalite fonksiyon göçeriminde müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi Markov zincirleri ile modellemeyi önermişlerdir.

### **KALİTE FONKSİYON GÖÇERİMİNDE MARKOV ZİNCİRLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ**

#### **Metodoloji**

Kalite fonksiyon göçerimi sürecinde kalite evi oluşturulurken, müşteri gereksinimleri belirlendikten sonra, müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri belirlenir. Bahsedilen bu önem dereceleri belirlenirken, çok kriterli karar verme yöntemlerinden herhangi biri uygulanabilmektedir. Müşteri gereksinimlerinin görece önemleri hesaplandıktan sonra, teknik gereksinimler belirlenir ve müşteri



**Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü  
Örneği**

gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler bulunur. Tablo 1’de, tipik bir kalite evi görülmektedir. Burada müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler, “CR” ve “TM” ile gösterilmiştir.  $w_i$ ,  $R_{ij}^{(0)}$ ,  $w_{TM_i}$  notasyonları; CR<sub>i</sub>’nin ağırlığını, CR<sub>i</sub> ile TM<sub>j</sub> arasındaki başlangıçtaki ilişkiyi, TM<sub>i</sub>’nin önem derecesini göstermektedir (Wu ve Shieh, 2007). Müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkinin derecesi; güçlü (s), orta (m) ve zayıf (w) olarak düşünülmektedir.

**Tablo 1: Tipik Bir Kalite Evi**

	<b>CR’lerin görelî önemleri</b>	<b>TM<sub>1</sub></b>	<b>TM<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>TM<sub>j</sub></b>	<b>...</b>	<b>TM<sub>m</sub></b>
<b>CR<sub>1</sub></b>	$w_1$	$R_{11}^{(0)}$	$R_{12}^{(0)}$	...	$R_{1j}^{(0)}$	...	$R_{1m}^{(0)}$
<b>CR<sub>2</sub></b>	$w_2$	$R_{21}^{(0)}$	$R_{22}^{(0)}$	...	$R_{2j}^{(0)}$	...	$R_{2m}^{(0)}$
<b>...</b>	..	..	...	...		...	
<b>CR<sub>i</sub></b>	$w_i$	$R_{i1}^{(0)}$	$R_{i2}^{(0)}$	...	$R_{ij}^{(0)}$	...	$R_{im}^{(0)}$
<b>...</b>	...	...	...	...	...	...	...
<b>CR<sub>n</sub></b>	$w_n$	$R_{n1}^{(0)}$	$R_{n2}^{(0)}$	...	$R_{nj}^{(0)}$	...	$R_{nm}^{(0)}$
	<b>TM’lerin görelî önemleri</b>	$w_{TM_1}$	$w_{TM_2}$	...	$w_{TM_j}$		$w_{TM_m}$

Teknik gereksinimlerin başlangıç önemini bulmak için gerekli formüller aşağıdaki gibidir:

$$w_{TM_1} (\text{başlangıç}) = w_1 R_{11}^{(0)} + w_2 R_{21}^{(0)} + \dots + w_i R_{i1}^{(0)} + \dots + w_n R_{n1}^{(0)}$$

$$w_{TM_2} (\text{başlangıç}) = w_1 R_{12}^{(0)} + w_2 R_{22}^{(0)} + \dots + w_i R_{i2}^{(0)} + \dots + w_n R_{n2}^{(0)}$$

$$w_{TM_j} (\text{başlangıç}) = w_1 R_{1j}^{(0)} + w_2 R_{2j}^{(0)} + \dots + w_i R_{ij}^{(0)} + \dots + w_n R_{nj}^{(0)} \quad (8)$$

$R_{ij}^{(0)}$  ise, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$R_{ij}^{(0)} = [p_{ij}(s) \ p_{ij}(m) \ p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada  $[p_{ij}(s), p_{ij}(m) \text{ ve } p_{ij}(w)]$  vektörü; CR<sub>i</sub> ile TM<sub>j</sub> arasındaki güçlü, orta ve zayıf ilişkinin başlangıç olasılığını göstermektedir. Başka

## İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç

deyişle bu, sistemin başlangıçtaki durum olasılık vektörüdür. Eşitlik 10, durum olasılık vektörünün farklı adımlardaki değerleri için kullanılmaktadır. Bu eşitliklerdeki  $p_{ss}$ ;  $CR_i$  ile  $TM_j$  arasında başlangıçta güçlü olan ilişkinin bir sonraki adımda da güçlü olma olasılığını göstermektedir.  $p_{sm}$ ,  $p_{sw}$  vb. olasılıklar da benzeri şekilde yorumlanmaktadır.

$$\begin{aligned} \Pi (1) &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix} \\ \Pi (2) &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^2 \\ \Pi (3) &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^3 \\ \Pi (n) &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^n \end{aligned} \quad (10)$$

$R_{ij}^{(1)}$ ,  $R_{ij}^{(2)}$ ,  $R_{ij}^{(3)}$  ve  $R_{ij}^{(n)}$  notasyonları; 1., 2., 3., n. adımdaki ilişkiler için kullanılmıştır. Bu ilişkiler ise aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır (Wu ve Shieh, 2007).

$$\begin{aligned} R_{ij}^{(1)} &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} \\ R_{ij}^{(2)} &= [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^2 \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} \end{aligned}$$

**Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü  
Örneği**

$$R_{ij}^{(3)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^3 \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix}$$

$$R_{ij}^{(n)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} \quad (11)$$

Eşitlik 11'de hesaplanan ilişkilerin beklenen ağırlıkları, durum olasılık vektörü ile sistemin alabileceği durumların çarpımıdır. Bu durum şu şekilde de yazılabilmektedir:

$$R_{ij}^{(1)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} = \Pi(1) \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix}$$

$$R_{ij}^{(2)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^2 \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} = \Pi(2) \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix}$$

$$R_{ij}^{(3)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^3 \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} = \Pi(3) \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix}$$

$$R_{ij}^{(n)} = [p_{ij}(s) \quad p_{ij}(m) \quad p_{ij}(w)] \begin{bmatrix} p_{ss} & p_{sm} & p_{sw} \\ p_{ms} & p_{mm} & p_{mw} \\ p_{ws} & p_{wm} & p_{ww} \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} = \Pi(n) \begin{bmatrix} s \\ m \\ w \end{bmatrix} \quad (12)$$

Buradan teknik gereksinimlerin farklı dönemlerdeki (adımlardaki) önemleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$w_{TMj}^{(0)} \text{ (başlangıç)} = w_1 R_{1j}^{(0)} + w_2 R_{2j}^{(0)} + \dots + w_i R_{ij}^{(0)} + \dots + w_n R_{nj}^{(0)}$$

$$w_{TMj}^{(1)} \text{ (1. adım)} = w_1 R_{1j}^{(1)} + w_2 R_{2j}^{(1)} + \dots + w_i R_{ij}^{(1)} + \dots + w_n R_{nj}^{(1)}$$

$$w_{TMj}^{(2)} \text{ (2. adım)} = w_1 R_{1j}^{(2)} + w_2 R_{2j}^{(2)} + \dots + w_i R_{ij}^{(2)} + \dots + w_n R_{nj}^{(2)}$$

$$w_{TMj}^{(3)} \text{ (3. adım)} = w_1 R_{1j}^{(3)} + w_2 R_{2j}^{(3)} + \dots + w_i R_{ij}^{(3)} + \dots + w_n R_{nj}^{(3)}$$

$$w_{TMj}^{(n)} \text{ (n. adım)} = w_1 R_{1j}^{(n)} + w_2 R_{2j}^{(n)} + \dots + w_i R_{ij}^{(n)} + \dots + w_n R_{nj}^{(n)} \quad (13)$$

## İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç

Markov zincirleri yardımıyla kalite evinin önemli bir bölümünü oluşturan müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki, beklenen değerler bazında değerlendirilmekte ve teknik gereksinimlerin gelecekte farklı dönemlerde alacağı değerler gözlemlenerek başka bir deyişle zaman faktörü dikkate alınarak analiz yapılmaktadır (Wu ve Shieh, 2007).

### Markov Zincirlerinin Kalite Fonksiyon Göçeriminde Uygulanabilirliğine İlişkin Uygulama Örneği

Otomobilin insan hayatında önemli bir yere sahip olduğu ve otomobil satın almanın kişisel olarak yapılan büyük harcamalardan biri olduğu düşünülerek çalışmanın uygulama bölümünde otomotiv sektöründe belirli bir otomobil markası için otomobil sahiplerinin isteklerine yönelik kalite fonksiyon göçerimi uygulanmış ve kalite evi hazırlanırken belirsizliği modelleyebilmek için Markov zincirleri ve geçiş matrislerinden yararlanarak dinamik bir analiz yapılmıştır.

Uygulama için öncelikle hedef müşteri tespit edilmiştir. Bu çalışmada hedef müşteriyi, farklı meslek gruplarından bir örneklem oluşturmaktadır. Müşteri gereksinimlerini karşılamaya yönelik teknik gereksinimleri belirleyen KFG takımı ise, otomotiv sektöründe çalışan uzmanlardan oluşmaktadır. Bu bölümde sırasıyla; müşteri gereksinimleri ile bunların öncelikleri belirlenmiş ve bu gereksinimlere yönelik teknik gereksinimler belirlenerek, ilişki matrisi oluşturularak kalite evi tamamlanmıştır.

Bir otomobil için müşteri gereksinimleri; fiyat, güvenlik, yakıt tüketimi, konfor, bakım ve bakım maliyetleri olarak belirlenmiştir. Kalite evinin müşteri istekleri kısmının temel girdisi olarak müşteri gereksinimleri belirlendikten sonra, kullanıcı isteklerinin ağırlıklandırılması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan analitik hiyerarşi süreci yöntemi kullanılmıştır. Çalışmaya katılan her bir kişi için ikili karşılaştırma matrisleri, 9'lu ölçek kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmaya katılanların cevapları doğrultusunda elde edilen sonuçlar, Tablo 2'de görülmektedir.

**Tablo 2: Müşteri Gereksinimleri İçin Önem Derecesi**

	<i>Fiyat</i>	<i>Güvenlik</i>	<i>Yakıt Tüketimi</i>	<i>Konfor</i>	<i>Bakım ve bakım mly.</i>
<i>Önem Derecesi</i>	0,23	0,36	0,20	0,11	0,10

### Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

Müşterileri gereksinimleri ve bunların her birinin ağırlıkları belirlendikten sonra, bu gereksinimlerin karşılanmasına yönelik teknik gereksinimlerin belirlenmesi gerekmektedir. KFG takımı teknik gereksinimleri; aracın teknik aksamı, aracın tasarımı, aracın boyutu, aracın güvenlik aksamı, araca ilişkin servis yaygınlığı olarak belirlemiştir. Her bir teknik gereksinim ile müşteri gereksinimi arasındaki ilişkinin Markov zincirleri ile modellenmesi için geçiş matrisleri oluşturulmuştur.

Çalışmanın bu bölümünde örnek olması açısından sadece "fiyat" ile "aracın teknik aksamı" arasındaki ilişkinin sayısal hesaplamaları gösterilmiştir. Buna göre "fiyat" ile "aracın teknik aksamı" arasındaki ilişkinin güçlü, orta ve zayıf olarak başlangıç durumu bir vektör şeklinde  $[0,3 \ 0,6 \ 0,1]$  olarak belirlenmiş ve "fiyat" ile "aracın teknik aksamı" arasındaki ilişki için geçiş matrisi, Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3: "Fiyat" İle "Aracın Teknik Aksamı" Arasındaki İlişki İçin Geçiş Matrisi**

		<i>Aracın Teknik Aksamı</i>		
		<b>Güçlü</b>	<b>Orta</b>	<b>Zayıf</b>
<i>Fiyat</i>	<b>Güçlü</b>	0,5	0,25	0,25
	<b>Orta</b>	0,3	0,6	0,1
	<b>Zayıf</b>	0	0,2	0,8

Buna göre 1. adım, 2. adım, 3. adım ve denge durumundaki durum olasılık vektörleri, Eşitlik 10 yardımıyla, "fiyat" ile "aracın teknik aksamı" arasındaki ilişkinin güçlü, orta ve zayıf olarak başlangıç durumu ve Tablo 3'teki geçiş matrisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\Pi(1) = [0,3 \ 0,6 \ 0,1] \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix} = [0,33 \ 0,455 \ 0,215]$$

$$\Pi(2) = [0,3 \ 0,6 \ 0,1] \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix}^2 = [0,302 \ 0,398 \ 0,3]$$

$$\Pi(3) = [0,3 \ 0,6 \ 0,1] \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix}^3 = [0,27 \ 0,374 \ 0,355]$$

**İrfan Ertuğrul ve Esra Aytaç**

$$\Pi (\text{denge}) = [ 0,3 \ 0,6 \ 0,1 ] \begin{bmatrix} 0,5 & 0,25 & 0,25 \\ 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0 & 0,2 & 0,8 \end{bmatrix}^n = [ 0,211 \ 0,351 \ 0,438 ]$$

Buradan;  $R_{11}^{(0)}$ ,  $R_{11}^{(1)}$ ,  $R_{11}^{(2)}$ ,  $R_{11}^{(3)}$ ,  $R_{11}^{(\text{denge})}$  için beklenen ağırlıklar, Eşitlik 12 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$R_{11}^{(0)} = 0,3s + 0,6m + 0,1w$$

$$R_{11}^{(1)} = 0,33s + 0,455m + 0,215w$$

$$R_{11}^{(2)} = 0,302s + 0,398m + 0,3w$$

$$R_{11}^{(3)} = 0,27s + 0,374m + 0,355w$$

$$R_{11}^{(\text{denge})} = 0,211s + 0,351m + 0,438w$$

Aynı şekilde tüm müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkilerin beklenen ağırlıkları hesaplanmıştır. Beklenen ağırlıklar ve müşteri gereksinimlerinin ağırlıkları yardımıyla her teknik gereksinim için önemler, Eşitlik 13 yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre "aracın teknik gereksinimi" için önem puanı farklı dönemler (adımlar) için aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\begin{aligned} w_{TM1}^{(0)} &= w_1 R_{11}^{(0)} + w_2 R_{21}^{(0)} + w_3 R_{31}^{(0)} + w_4 R_{41}^{(0)} + w_5 R_{51}^{(0)} \\ &= w_1 (0,3s + 0,6m + 0,1w) + w_2 (0,1s + 0,15m + 0,75w) + w_3 (1s + 0m + 0w) + w_4 (0,1s + 0,1m + 0,8w) + w_5 (0,7s + 0,2m + 0,1w) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{TM1}^{(1)} &= w_1 R_{11}^{(1)} + w_2 R_{21}^{(1)} + w_3 R_{31}^{(1)} + w_4 R_{41}^{(1)} + w_5 R_{51}^{(1)} \\ &= w_1 (0,33s + 0,455m + 0,215w) + w_2 (0,14s + 0,175m + 0,685w) + w_3 (1s + 0m + 0w) + w_4 (0,07s + 0,215m + 0,715w) + w_5 (0,665s + 0,215m + 0,12w) \end{aligned}$$

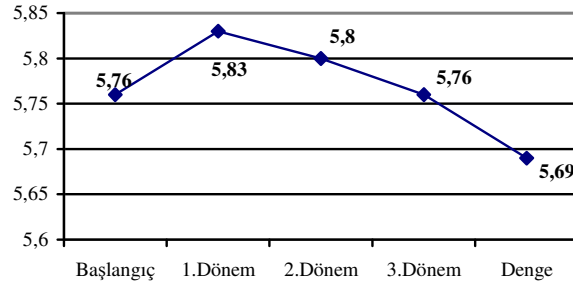
$$\begin{aligned} w_{TM1}^{(2)} &= w_1 R_{11}^{(2)} + w_2 R_{21}^{(2)} + w_3 R_{31}^{(2)} + w_4 R_{41}^{(2)} + w_5 R_{51}^{(2)} \\ &= w_1 (0,302s + 0,398m + 0,3w) + w_2 (0,156s + 0,187m + 0,656w) + w_3 (1s + 0m + 0w) + w_4 (0,063s + 0,254m + 0,682w) + w_5 (0,65s + 0,223m + 0,126w) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{TM1}^{(3)} &= w_1 R_{11}^{(3)} + w_2 R_{21}^{(3)} + w_3 R_{31}^{(3)} + w_4 R_{41}^{(3)} + w_5 R_{51}^{(3)} \\ &= w_1 (0,27s + 0,374m + 0,355w) + w_2 (0,162s + 0,193m + 0,643w) + w_3 (1s + 0m + 0w) + w_4 (0,063s + 0,266m + 0,669w) + w_5 (0,644s + 0,227m + 0,128w) \end{aligned}$$

## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

$$w_{TM_1}^{(denge)} = w_1 R_{11}^{(denge)} + w_2 R_{21}^{(denge)} + w_3 R_{31}^{(denge)} + w_4 R_{41}^{(denge)} + w_5 R_{51}^{(denge)}$$
$$= w_1 (0,211s + 0,351m + 0,438w) + w_2 (0,166s + 0,2m + 0,633w) + w_3 (1s + 0m + 0w) + w_4 (0,067s + 0,271m + 0,661w) + w_5 (0,638s + 0,234m + 0,127w)$$

Formüllerde müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişki derecesini simgeleyen s, m, w notasyonları için kalite fonksiyon göçerimi literatüründe kullanılan puanlama sistemi baz alınarak; sırasıyla 9, 5, 3 değerleri kullanılmıştır. "Aracın teknik aksamı" teknik gereksiniminin farklı dönemlerdeki önem derecesi Şekil 2'de gösterilmiştir.



### Şekil 2: Farklı Dönemlerde "Aracın Teknik Aksamı"na İlişkin Önem Dereceleri

Önem dereceleri her teknik gereksinim için aynı şekilde belirlenmiş ve kalite evi oluşturulmuştur. Oluşturulan kalite evi, Tablo 4'de görülmektedir. Oluşturulan kalite evi yardımıyla müşteri istek ve ihtiyaçlarını belirlerken sektörün sırasıyla aracın tasarımına, aracın güvenlik aksamına, aracın teknik aksamına, aracın boyutuna ve aracın servis yaygınlığına önem vermesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

**Tablo 4: Otomobil Sahiplerinin İsteklerine Yönelik Oluşturulan Kalite Fonksiyon Göçerimi**

	Ağırlıklı Müşteri İsteği	Araçın Teknik Aksamı				Araçın Tasarımı				Araçın Boyutu				Araçın Güvenlik Aksamı				Araçla İlgili Servis Yayınlığı								
		Başlangıç	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	Denge	Başlangıç	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	Denge	Başlangıç	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	Denge	Başlangıç	1. Dönem	2. Dönem	3. Dönem	Denge					
<b>Fiyat</b>	0,23	6	5,89	5,61	5,37	4,96	8,6	7,94	7,51	7,21	6,59	5,4	5,46	5,37	5,66	5,50	8,2	6,72	5,99	5,66	5,50	3,6	4,13	4,38	4,43	4,51
<b>Güvenlik</b>	0,36	3,9	4,19	4,31	4,35	4,39	8	7,94	7,86	7,7	5,4	5,52	5,58	5,61	5,64	8,2	8,22	8,22	8,22	8,23	8,23	3,2	3,28	3,30	3,33	3,34
<b>Yakıt Tüketimi</b>	0,2	9	9	9	9	9	3,2	3,5	3,65	3,72	3,8	3,2	3,37	3,47	3,53	3,60	3,2	3,49	3,61	3,66	3,71	3,2	3,49	3,61	3,66	3,71
<b>Konfor</b>	0,11	3,8	3,85	3,88	3,90	3,94	8,6	7,87	7,53	7,37	7,22	3,2	3,51	3,67	3,76	3,84	3,4	4,28	4,84	5,20	5,8	3,2	3,92	4,22	4,34	4,45
<b>Bakım ve bakım maliyetleri</b>	0,1	7,6	7,42	7,34	7,32	7,29	3,8	4,14	4,28	4,33	4,37	3,2	3,88	4,22	4,45	4,75	3,8	3,95	4,04	4,11	4,37	8,6	8,08	7,92	7,87	7,85
<b>Teknik önem</b>		5,76	5,83	5,80	5,76	5,69	6,82	6,69	6,57	6,48	6,28	4,50	4,69	4,77	4,89	4,92	6,23	6,07	6,00	5,98	6,05	3,83	4,07	4,18	4,22	4,26



## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

### SONUÇ

Bu çalışmada kalite fonksiyon göçerimi ile Markov zinciri birleştirilmeye çalışılmıştır. Markov zincirleri ile uzman kişilerce ilişkilerin belirlenmesi aşamasında karmaşık veya net olarak ifade edilemeyen kavramların ve karar proseslerinin, olasılık kavramı ile ifade edilmesi önerilmektedir. Bu nedenle kalite fonksiyon göçerimi yönteminin teknik gereksinimler ile müşteri gereksinimleri arasındaki ilişkinin modellenmesi aşamasında, Markov zincirinden yararlanılmıştır.

Çalışmada öncelikle müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler belirlenmiştir. Müşteri gereksinimlerinin önem dereceleri belirlenirken analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki kurulmasında ise geçiş matrislerinden yararlanılmıştır. Wu ve Shieh (2006) tarafından önerilen yöntem ile oluşturulan kalite evine göre, sektörün sırasıyla aracın tasarımına, aracın güvenlik aksamına, aracın teknik aksamına, aracın boyutuna ve aracın servis yaygınlığına önem vermesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Kalite fonksiyon göçerimine Markov zincirinin uygulanması ile bazı avantajlar sağlanmıştır. Öncelikle KFG takımı, ilişkileri belirlerken kesin yargılardan kaçınarak müşteri gereksinimi ile teknik gereksinim arasındaki ilişkiyi olasılıklar yardımıyla ve teknik gereksinimlerin önemlerini ise beklenen değerler şeklinde ifade etmektedir. Markov zincirleri yardımıyla teknik gereksinimlerin önemleri ve bunlara ilişkin ilişkiler, zaman temelinde değerlendirilmiştir. Böylece teknik gereksinimlerin farklı zaman periyotlarında durumu gözlemlenebilmektedir. Ayrıca KFG takımı, güncel bilgilerine paralel olarak geçiş matrisindeki olasılıkları değiştirerek kısa ve uzun dönem tahminlerini etkin ve kolay bir biçimde yapabilmektedir (Wu ve Shieh, 2007).

Bundan sonraki çalışmalarda Markov zincirleri, kalite evinin oluşturulması aşamasında sadece müşteri gereksinimleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki belirlenirken kullanılmayıp, müşteri gereksinimlerinin başlangıç görelî önemlerinin bulunmasında ve sonraki dönemler için tahmininde kullanılmalıdır. Ayrıca, kalite evinin oluşturulması ile KFG uygulamasının tamamlandığı düşünülmemeli, buraya kadar müşteri gereksinimlerinin tasarıma dahil edildiği ve bunlara karşılık gelen teknik gereksinimler belirlendiği göz önünde bulundurularak teknik gereksinimler; bileşenler, süreçler ve üretim aşamalarına aktarılmalıdır.

**KAYNAKÇA**

- Aaltonen, J. & Östermark, R. (1998). Mixed Markov Modelling of Financial Success: Empirical Evidence with Swedish Data. *Kybernetes*, 27 (1): 54–70.
- Aparisi, F. & Diaz, C.J. (2007). Design and Optimization of EWMA Control Charts for in-Control, Indifference, and out-of-Control Regions. *Computers & Operations Research*, 34: 2096–2108.
- Aytemiz, T. & Şengönül, A. (2004). Markov Zincirlerinin Ekonomik Bir Probleme Uygulanması: Perakende Alışverişlerde Bireysel Olarak Kullanılan Madeni Para Stratejilerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6 (4): 29-43.
- Bottani, E. & Rizzi, A. (2006). Strategic Management of Logistics Service: A fuzzy QFD Approach. *Int. J. Production Economics*, 103: 585-599.
- Chan, L.K. & Wu, M.L. (2005). A Systematic Approach to Quality Function Deployment with a Full Illustrative Example. *Omega*, 33: 119-139.
- Chen, Y.K. (2007). Economic Design of Variable Sampling Interval T<sup>2</sup> Control Charts-A Hybrid Markov Chain Approach with Genetic Algorithms. *Expert Systems with Applications*, 33: 683–689.
- Ching, W.K., Fung, E.S. & Ng, M.K. (2002). A Multivariate Markov Chain Model for Categorical Data Sequences and Its Applications in Demand Predictions. *IMA Journal of Management Mathematics*, 13: 187-199.
- Dağdeviren, M., Eraslan, E. & Kurt M. (2007). İşgücü Planlamasında Markov Zincirlerinin Kullanımı ve Örnek Bir Çalışma. *Yöneylem Araştırması-Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*, 50-54.
- Doğan, Ö.İ. (2000). Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2 (1).
- Ertuğrul, İ. (2004). *Toplam Kalite Kontrol ve Teknikleri*. Bursa: Ekin Kitabevi.
- Ertuğrul, İ. & Aytaç, E. (2006a). Construction of Quality Control Charts by Using Probability and Fuzzy Approaches and an Application in a Textile Company. *Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, 181-194.
- Ertuğrul, İ. & Aytaç, E. (2006b). Öğrenci Faaliyetlerinin İyileştirilmesinde Bulanık Kalite Fonksiyon Göçeriminin Uygulanabilirliği. *VI. Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul*, 83-93.
- Ertuğrul, İ. & Aytaç, E. (2007). Kalite Fonksiyon Göçerimi: Markov Zincirlerinin Uygulanabilirliği. *VII. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Ankara*, 15-17 Kasım.
- Ertuğrul, İ. & Karakaşoğlu, N. (2007). Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Facility Location Selection. *Int. Jour. Adv Manuf Techno.*, DOI 10.1007/s00170-007-1249-8

## Kalite Fonksiyon Göçeriminde Markov Zincirleri: Otomotiv Sektörü Örneği

- Fua, J.C., Spiringa, F.A. & Xieb, H. (2002). On The Average Run Lengths of Quality Control Schemes Using a Markov Chain Approach. *Statistics & Probability Letters*, 56: 369–380.
- Fung, R.Y.K., Chen, Y. & Tang, J. (2005). Estimating The Functional Relationships for Quality Function Deployment under Uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 157 (1): 98-120.
- Güllü, E. & Ulcay, Y. (2002). Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama. *Uludağ Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(1): 71-91.
- Ho, L.L., Medeiros, P.G. & Borges, W. (2007). An Alternative Model for On-Line Quality Monitoring for Variables. *Int. J. Production Economics*, 107 (1): 202–222.
- Khoo, L.P. & Ho, N.C. (1996). Framework of a Fuzzy Quality Deployment System. *International Journal of Production Research*, 34 (2): 299-311.
- Lam, Y., Li, K.H., Ip, W.C. & Wong, H. (2006). Sequential Variable Sampling Plan for Normal Distribution. *European Journal of Operational Research*, 172: 127–145.
- Lin, Y.C. & Chou, C. (2007). Non-normality and the Variable Parameters  $\bar{X}$  Control Charts. *European Journal of Operational Research*, 176: 361–373.
- Magalhaes, M.S., Costab, A.F B. & Neto, F.D.M. (2006). Adaptive Control Charts: A Markovian Approach for Processes Subject to Independent Disturbances. *Int. J. Production Economics*, 99: 236-246.
- Makis, V. (2008). Multivariate Bayesian Process Control for a Finite Production Run. *European Journal of Operational Research*, doi:10.1016/j.ejor.2008.01.001
- Öter, Z. & Tütüncü, Ö. (2001). Turizm İşletmelerinde Kalite Fonksiyon Göçerimi: Seyahat Acentelerine Yönelik Varsayımsal Bir Yaklaşım. *DEÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3 (3): 95-117.
- Öztürk A. (2005). *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Kitabevi.
- Render, B. & Stair, R. (1991). *Quantitative Analysis for Management*, Boston: Allyn and Bacon.
- Rüzgar, N. (2003). Bir İşletmenin Ödemeler Dengesinin Markov Süreçleri Yardımıyla Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5 (1): 29-43.
- Sakallı, S. & Birgören, B. (2006). Seyahat Otobüslerinde Araç Sahiplerinin İsteklerine Yönelik Bir Kalite Fonksiyonu Yayılımı Uygulaması. *YA/EM 2006 Bildiriler Kitabı*, 164-167.
- Saccucci, M.S. & Lucas, J.M. (1990). Average Run Lengths for Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes using the Markov Chain Approach. *Journal of Quality Technology*, 22: 154–162.

### **İrfan Ertuğrul ve Esra Aytacı**

- Savaş, H. & Ay, M. (2005). Üniversite Kütüphanesi Tasarımında Kalite Fonksiyon Göçerimi Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Fakültesi Dergisi, 7 (3): 80-98.
- Serel, D.A. & Moskowitz, H. (2008). Joint Economic Design of EWMA Control Charts for Mean and Variance. European Journal of Operational Research, 184: 157–168.
- Taha H.A. (2000). Yöneylem Araştırması. Çev. Ş. Alp Baray, Şakir Esnaf, İstanbul: Literatür Yayınları.
- Yang, S.F. & Yu, Y.N. (2007). Using VSI EWMA Charts to Monitor Dependent Process Steps with Incorrect Adjustment. Expert Systems with Applications, doi:10.1016/j.eswa.2007.09.036
- Yenginol, F. (2000). Yeni Ürün Geliştirmede Müşteri İstek ve İhtiyaçlarını Teknik Karakteristiklere Dönüştürmeyi Sağlayan Bir Yöntem: Kalite Fonksiyon Göçerimi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Vanegas, L. & Labib, A. (2001). A Fuzzy Quality Function Deployment (FQFD) Model for Deriving Optimum Targets. Int. J. Production Research, 39 (1): 99-120.
- Wu, H.H. & Shieh, J. (2006). Using a Markov Chain Model in Quality Function Deployment to Analyse Customer Requirements. Int J. Adv. Manuf. Technology, 30: 141–146.
- Wu, H.H. & Shieh, J. (2007). Applying A Markov Chain Model in Quality Function Deployment. Quality and Quantity, DOI 10.1007/s11135-007-9079-1.