

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE BİRLİKTE TAGUCHI YÖNTEMİNİ KULLANARAK BİR ÜRÜNÜN TASARIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Yusuf Tansel İÇ, Sebla YILDIRIM

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Bağlıca, 06810 Etimesgut/ Ankara.
ytansel@baskent.edu.tr; seblayldrm@hotmail.com

(Geliş/Received: 11.07.2011; Kabul/Accepted: 24.11.2011)

ÖZET

Kaliteli ürün üretebilmek işletmeler için müşteri memnuniyetini sağlamada önemli faktörlerden biridir. Müşterilere yüksek kaliteli ürün sunulamaması, müşterinin güveninin kaybolmasıyla birlikte işletmeye maddi kayıplar da getirmektedir. Ayrıca bu durum gün geçtikçe artan rekabet ortamında imalat firmalarının hem yurt içi hem de uluslararası firmalarla rekabet ederek hayatta kalabilmeleri için de son derece önemlidir. Yüksek kaliteli ürünler üretmek için, ürünün tasarımı aşamasından başlayarak ürün kalitesine etki edebilecek faktörlerin analiz edilmesi gerekir. Bu çalışmada ilk olarak bir çamaşır makinesi modelinin kalite karakteristiklerine etki eden faktörler ve her bir faktör için seviyeler belirlenmiş, ardından faktörlerin hangi seviyelerinde kalite karakteristiklerini eniyilediği çalışma kapsamında geliştirilen bir deney tasarımı modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Son aşamada ise modelden elde edilen sonuçlar doğrultusunda faktörlerin en iyi seviyeleri tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan modelin geliştirilmesi ve sonuçların elde edilmesinde Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri olan Gri İlişkisel Analiz (GRA), TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) ve VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje-Çok Kriterli Eniyileme ve Uzlaşık Çözüm) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Farklı yöntemlerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış ve en iyi faktör kombinasyonları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ürün Tasarımı, Ürün Kalitesi, Çok Yanıtlı Taguchi yöntemi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Gri İlişkisel Analiz, TOPSIS, VIKOR.

IMPROVEMENT OF A PRODUCT DESIGN USING MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHODS WITH TAGUCHI METHOD

ABSTRACT

Producing a high quality product is very important in satisfying customer needs and gaining customer confidence. Not being able to provide customers a high quality product eventually results in decrease of profits for manufacturing companies. Therefore, this situation is extremely important in survival of manufacturing companies in ever increasing competition generated by not only domestic but also international companies. To produce high-quality products, the factors that may affect product quality, should be analyzed starting with the product design stage. In this study, first, the factors that are important in quality of a washing machine and their levels are determined. Then, these factors and their interactions are analyzed using an experimental design model developed in the study. Finally the optimal levels of the factors are determined with the solution of the model. In the study, along with the Taguchi method, the Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods such as; GRA (Grey Relational Analysis), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), and VIKOR (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje- Multi-Criteria Optimization And Compromise Solution) are also used in the development of the model and its solution. The results of the different approaches are compared and the optimal factor-level combinations are determined.

Keywords: Product Design, Product Quality, Multi Response Taguchi method, Multi Criteria Decision Making (MCDM), Grey Relational Analysis, TOPSIS, VIKOR.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzün rekabetçi ortamında doğru ve etkin kararlar alabilen işletmeler rakiplerine üstünlük sağlayabilmektedir. İşletme için yerinde ve doğru kararların alınabilmesi, bilgilerin etkili ve zamanında değerlendirilmesi ile mümkündür. Birçok durumda karar verme süreci hem nitel hem de nicel kriterleri bir arada değerlendirmeyi gerektirir. Bu nedenle endüstride pek çok süreçte etkin karar verme yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir ürünün kalitesini iyileştirmek için, ürün kalitesine etkiyen faktörlerin uygun seviyelerini belirlemek firmalar için önemli problemlerden biridir. Çünkü uygun faktör seviyeleri belirlenirken, karar verici birçok veriyi analiz etmek ve birçok faktör düzeyini dikkate almak zorundadır. Bu faktörler özellikle birden fazla başarımları kriterini etkilediğinde durum daha da karmaşık bir hale gelebilmektedir. Bu durumda problemin çözümüne yönelik olarak uygun bilimsel yaklaşımlar geliştirmek ve uygulamak karar vericiye önemli kolaylıklar sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada sanayide üretilmekte olan bir çamaşır makinesi modelinin kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ürün kalitesine etki eden faktörlerin farklı seviyeleriyle yapılan deney sonuçları doğrultusunda, faktörlerin hangi seviyelerinde ürün kalitesi açısından en iyi sonuçlara ulaşıldığı, Taguchi yöntemi ile birlikte Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Uygulamada ÇKKV yöntemlerinden olan GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri iki adet başarımları kriterine sahip olan çamaşır makinesinin “ses düzeyi” kalite karakteristiğinin eniyilemesinde Taguchi yöntemi ile birlikte uygulanmış ve farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yöntemlerin sonuçlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde deney tasarımı ve çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerine değinilmiştir. Taguchi yöntemi ile GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ayrıntılı bir şekilde açıklanarak bu yöntemlere ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmanın gerçekleştiği firmadan ve ürün kalitesinin geliştirilmesine yönelik olarak yapılan faaliyetlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde çamaşır makinesinin kalitesini iyileştirmek üzere “ses düzeyi” karakteristiği üzerinde gerçekleştirilen analizler ve ulaşılan sonuçlar yer almaktadır. Beşinci ve altıncı bölümlerde ise, çalışma sonunda elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE (LITERATURE SURVEY AND CONCEPTUAL FRAMEWORK)

2.1. Taguchi Yöntemi (Taguchi Method)

Taguchi yöntemi Genichi Taguchi tarafından 1950’li yıllarda süreç eniyileme tekniği olarak Japonya’da geliştirilmiştir. Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak çok daha az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [1].

Kalite mühendisliğinde tasarım kalitesi (robust design) 3 temel sürece dayanmaktadır. Bunlar; a) dikey dizilim (orthogonal arrays), b) sinyal-gürültü oranı (S/N ratio) ve c) kayıp fonksiyonu (loss function)’dur. Taguchi tasarımı; sistem tasarımı (kavram oluşturma), parametre tasarımı (ürün ve süreç için hedef oluşturma) ve tolerans tasarımı (sonucu istenen hedefe ulaşamadığında yapılan ilave çalışmalar) olmak üzere 3 temel kavram üzerine kurulmuştur [2]. Taguchi yönteminde Sinyal/Gürültü oranı (S/N-Signal/Noise ratio) veya “kayıp fonksiyonu” olarak bilinen 3 farklı amaca uygun fonksiyon bulunmaktadır. Buna göre, amacın “en küçük en iyi”, “en büyük en iyi” ve “nominal en iyi” olmasına göre aşağıdaki eşitlikler (Eş.1-5) kullanılarak S/N oranları hesaplanır [2,3].

En düşük (küçük) en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

En büyük en iyi olduğu durumda:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

Nominal en iyi olduğu durumda:

$$S/N = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5)$$

Eşitliklerde y_i : Performans yanıtının i. gözlem değeri, n: bir denemedeki test sayısı, \bar{y} :Gözlem değerlerinin ortalaması ve S^2 : Gözlem değerlerinin varyansını ifade etmektedir.

Literatür incelendiğinde Taguchi yöntemiyle gerçekleştirilen birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Örneğin Kumar ve diğerleri [3] Taguchi yöntemini kullanarak döküm prosesinin parametrelerinin eniyilendiği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Diğer taraftan Dovey ve Matthews [4] çalışmalarında

matkap uçlarının PVD (Physical Vapor Deposition) tekniği kullanılarak TİN (Titanium Nitrit) kaplaması uygulamasında performans istatistiği olarak kayıp fonksiyonunu ele almışlardır. Taguchi yöntemi uygulaması sonucunda, kaplama maliyetlerinde %25 oranında bir artış olmasına rağmen matkap uçlarının paslanmaya karşı olan dayanımlarında %40'lık bir kalite sağlanmıştır. Yang ve Tarng'ın [5] gerçekleştirdiği başka bir çalışmada, S45C çelik çubukların tornalanma sürecinde kesici takım parametrelerinin en iyi seviyelerinin belirlenmesi için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Her biri üç seviyeli üç temel faktörün tornalama işlemi üzerindeki etkilerini görmek için L9 ortogonal dizi uygulanmıştır. Başka bir çalışmada ise, Ke vd [6] manyetik alanın kuvveti ve düzgünlüğünü gösterge olarak kullanarak, ince tip CD/DVD sürücü için en iyi manyetik tasarımı Taguchi Yöntemi'ni uygulayarak önermişlerdir. Canıyılmaz ve Kutay'ın [7] gerçekleştirdiği çalışmada, şalter üretimi yapan bir firmanın, şalter gövdelerinin kullandıkları ortamlarda maruz kalabilecekleri mekanik darbelere karşı mukavemetlerini arttıracak en uygun sürç şartlarının tespiti amaçlanmıştır. Yedi faktörlü iki seviyeli problem L16 ortogonal dizinine göre atanmıştır. Verilerin analiz edilmesinde "Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi" metodu kullanılmıştır. Gerçek sistemden alınan veriler kullanılarak varyans analizi yöntemiyle çözülmüş olan problem, "Faktör Etkilerinin Grafikselsel Gösterimi" yöntemiyle tekrar çözümlenerek iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yukarıda belirtildiği üzere, çok farklı alanlarda birçok çalışmada Taguchi yönteminin kullanıldığı ve çalışmalar neticesinde süreç veya ürün performanslarında önemli iyileşmeler sağlanabildiği görülmektedir. Yöntemin gerek geniş kullanım alanına sahip olması, gerekse daha az deney yaparak hem zaman kazancı, hem de daha az maliyetle sonuçların elde edilmesine imkân sağlaması gibi avantajlar sunması, çalışma kapsamında Taguchi yönteminin kullanılmasında etkili olmuştur.

2.2. Çok Yanıtlı Taguchi Tasarımı (Multi Response Taguchi Design)

Çok yanıtlı bir deneyden elde edilen değerlerin analizi, değerlerin birden fazla değişkenli olması durumunun titiz bir şekilde ele alınmasını gerektirmektedir. Yanıtlar arasındaki ilişkiler, tek değişkenli incelemelerin anlamsız olmasına neden olacağı için yanıt değişkenleri tekil ve diğerlerinden bağımsız olarak incelenmemelidir. Bu durumda, birden fazla yanıtın eş zamanlı olarak eniyilemesi isteniyorsa, ayrı ayrı eniyilerin elde edilmesi anlamsızdır [8]. Tasarım değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu durumlarda hedef, tüm yanıtları kapsayan tek bir çözümün tanımlanmasıdır. Bu amaçla yapılan çözümden, tasarım noktalarına

ilişkin yanıtlar eniyilenir ve varyanslar en küçüklenir [9,10].

Bu amaç için literatürde ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi bütünlük olarak uygulanmaktadır. Örneğin; Kuo vd. [11] çok kriterli benzetim problemlerinin eniyilemesinde gri ilişkisel derece tabanlı Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Liao [12], çok yanıtlı benzetim eniyilemesinde Taguchi tasarımı ile TOPSIS yöntemini birlikte kullanmıştır. Yang ve Chou [13] çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak, çok yanıtlı benzetim eniyilemesi gerçekleştirmişlerdir. Diğer taraftan Huang ve Liao [14], elektrik teli boşaltım mekanizması parametrelerinin eniyilemesinde GRA ve Taguchi yöntemini birlikte uygulamışlardır. Biswas vd [15] çok yanıtlı toz altı ark kaynağı eniyilemesi çalışmasında, Tong vd [16] ise çok yanıtlı süreç eniyilemesi amacıyla VIKOR metodu ile Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Lan [17] ise bir frezeleme işlemindeki çok yanıtlı eniyileme probleminin çözümünde TOPSIS yöntemiyle Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Çalışmamız kapsamında ele alınan çamaşır makinesinin "ses düzeyi"nin eniyilenmesi problemi, yukarıda değinilen iki yanıtlı süreç eniyilemesi çalışmalarına benzer bir yapıdadır. Çamaşır makinesinin ses düzeyi performansına etkiyen ve "çamaşır makinesinin ses gücü" ile "makinenin rezonansa girdiği sıkma devri" olarak adlandırılan iki adet performans yanıtı bulunmaktadır. Taguchi yöntemi tek başına sadece tek performans yanıtının eniyilemesinde kullanılan bir yöntemdir [11-13]. ÇKKV yöntemleri Taguchi yöntemiyle birlikte kullanılarak birden çok performans yanıtı tek bir yanıtla dönüştürülür [12]. Uygulamada öncelikle faktör sayısı ve seviyelerine uygun olan Taguchi tasarımı belirlenir [2]. Belirlenen tasarım doğrultusunda deneyler yapılır ve eniyileyecek yanıtlar elde edilir. Ardından Eş. (1-5)'de verilen formüllerden amaca uygun olanları kullanılarak, deneylerden elde edilen yanıtlarla S/N oranları hesaplanır. Bu aşamanın ardından sürece bir ÇKKV yöntemi (GRA, TOPSIS, VIKOR gibi) dahil edilerek; "deney senaryoları" alternatifler, senaryolara göre elde edilen "yanıtlar" ise kriter olarak kullanılarak bir karar matrisi oluşturulur. Daha sonra, ÇKKV yöntemlerinin genel prensipleri uygulanarak (karar matrisinin normalizasyonu-ağırlıklandırma-alternatiflerin sıralama puanlarının hesaplanması) her bir deney senaryosu için 0-1 arasında bir puanla ifade edilen sıralama puanları elde edilir. Elde edilen bu sıralama puanları birden fazla yanıtla sahip senaryolar için artık tek bir yanıtı ifade etmektedir. Böylece başlangıçta çok yanıtlı olan problem tek yanıtlı bir eniyileme problemine dönüşmüş olur. Bundan sonraki süreçte klasik Taguchi yöntemi kullanılarak faktörlerin en iyi düzeyleri tespit edilir. Artık bulunan

bu düzeyler tüm yanıtlar için elde edilen en iyi seviyeleri ifade eder [11-13].

Çamaşır makinesinin ses düzeyinin iyileştirilmesi için çalışmamızda ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte uygulanarak ses düzeyine etki eden faktörlerin en iyi seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaca yönelik olarak gerçekleştirilen analizlerde, literatürde çok yanıtlı süreç iyileştirme çalışmalarında Taguchi yöntemi ile bütünleşik olarak en yaygın kullanıma sahip olan GRA [11,14,18], TOPSIS [12,13,17] ve VIKOR [15,16] yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. GRA, TOPSIS ve VIKOR tabanlı Taguchi yöntemlerinin uygulama adımları Ek-1’de verilmiştir.

Literatür incelendiğinde farklı ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı ve aynı problemlerin çözüldüğü Taguchi eniyilemesinde farklı sonuçlar elde edilebilmektedir [11,12,19]. Bu farklılık daha çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinin normalizasyon ve ideal veya uzlaşık çözümün bulunmasındaki uygulama ya da yaklaşım farklılıklarından kaynaklanabilmektedir. Gauri ve Pal [19] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada; çok yanıtlı Taguchi eniyilemesinde, seçilecek ÇKKV yönteminin eniyileme performansı açısından çok önemli olduğunu belirtilmektedir. Söz konusu çalışma içeriğinde, çeşitli çok yanıtlı eniyileme problemlerinin çözümünde hem VIKOR, hem de GRA yöntemleri aynı problemlere uygulanmış ve problemlerin çözümü sonucunda farklı sonuçların elde edilebildiği görülmüştür [19]. Bu nedenle çalışmamızda Taguchi eniyilemesinde literatürde en yaygın kullanılan birbirinden farklı ÇKKV yöntemleriyle çözümler gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçlarda farklılık olup olmadığının belirlenmesi ve eğer farklılık varsa en iyi çözümün tespit edilmesi amaçlanmıştır. Böylece çamaşır makinesinin ses düzeyinin eniyilemesinde farklı yöntemlerin uygulanması neticesinde ortaya çıkabilecek farklı çözümler içerisinde en iyisinin firmaya önerilmesi hedeflenmiştir.

3. ÇAMAŞIR MAKİNESİNİN KALİTE FAKTÖRLERİ (QUALITY FACTORS OF WASHING MACHINE)

Dayanıklı tüketim malları sektöründe üretim, pazarlama ve satış sonrası destek hizmetleri ile faaliyet gösteren firma 1955 yılında kurulmuştur. Firma 17.000 çalışanı, dört ülkede 11 ayrı üretim tesisi, dünyanın birçok noktasında satış ve pazarlama şirketleri ve kendisine ait 10 markasıyla 100’den fazla ülkede ürün ve hizmet sunmaktadır.

Firmanın İstanbul’da faaliyet göstermekte olan çamaşır makinesi işletmesinde üretilmekte olan; 5 kg yük kapasiteli, çamaşır miktarına göre su kullanımını ayarlayan, su kontrol sistemli, enerji ve yıkama performansı A, sıkma performansı E, elektrik tüketimi

0.95 (kWh/24 saat), su tüketimi ise 49 lt olan çamaşır makinesi modelinin kalitesini geliştirmeye yönelik olarak bazı uygulama ve analizler yapılmaktadır. Firma, çamaşır makinesinin temel kalite özelliklerinden biri olan “ses düzeyi” kalite karakteristiğini iyileştirmek istemektedir. Firmada; beyin fırtınası, süreç akış şeması ve sebep-sonuç (balık kılıçığı) diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılarak, ilgilenilen kalite karakteristiğine etkisi olan faktör ve/veya etkileşimleri tespit edilmiş bulunmaktadır. Buna göre, ses düzeyine etki eden faktörler; gövde yan panel derinliği, gövde kalınlığı, motor izolasyonu ve kayış kalınlığı olarak belirlenmiş durumdadır.

3.1. Kalite faktörlerinin değerlendirilmesi (Evaluation of the quality factors)

Bu bölümde firma tarafından gerçekleştirilen ürün kalitesinin iyileştirme çalışmalarına yer verilmektedir. Çamaşır makinesinin kalite karakteristiğine (ses düzeyi) etkiyen her bir faktör için ayrı ayrı değerlendirmeler gerçekleştirilmektedir. Her bir faktör için faktörlerin farklı seviyeleriyle deneyler yapılarak karakteristiğe ait performans verileri elde edilmekte ve ardından deney sonuçlarına göre yorumlar yapılarak her bir faktörün karakteristik üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmaların detayları aşağıda sunulmaktadır.

Firma tarafından yapılan analizler, gövde yan panel derinliği, gövde kalınlığı, motor izolasyonu ve kayış kalınlığı faktörlerinin, makinenin ses gücü (dBA) ile rezonansa girdiği sıkma devri (d/d) olarak tanımlanan iki tane performans yanıtı üzerine etkileri incelenerek gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneyler sonucunda firma tarafından ulaşılan sonuçlara Tablo 1’de yer verilmektedir.

Yukarıda verilen ve firma tarafından gerçekleştirilen analizlerde görüldüğü gibi, ürün kalitesinin geliştirilmesi için her bir faktörün ürün kalitesine etkisi tekil olarak incelenmekte, tüm faktörlerin birlikte ve farklı seviyelerde dikkate alınması durumunda çamaşır makinesinin ses düzeyindeki değişimler analiz edilmemektedir. Firma tarafından uygulanan mevcut analizler yerine bir deney tasarımı yaklaşımı ile faktörlerin farklı faktör seviyeleri kombinasyonlarını kullanarak kalite karakteristiğine etkilerinin analiz edilmesi daha bilimsel ve doğru sonuçlara ulaşmayı sağlayabilecektir.

Yukarıda belirtilen problemin çözümünde (ürün kalitesinin/tasarımının geliştirilmesinde) Taguchi yöntemi uygun bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Çamaşır makinesinin iki adet performans yanıtına sahip ses düzeyinin iyileştirilmesine yönelik olarak firmaya Taguchi yöntemi ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin birlikte kullanılması

önerilmiştir. Bu sayede ses gücüne ait iki adet performans yanıtı ÇKKV yöntemleri kullanılarak tek yanıtla dönüştürülerek Taguchi yöntemi uygulanabilecektir. Ses düzeyinin en küçüklendiği, en iyi süreç şartlarının belirlenebilmesi için, kalitenin ürüne tasarım aşamasında kazandırılması

d/d'da rezonansa girerken, eski tip yan panel formu ve 0,9 mm gövde kalınlığında yapılan başka bir teste 1620 d/d'da rezonansa girmektedir. Diğer taraftan yeni tip yan panel formu ve 0,7 mm gövde kalınlığı kullanıldığında rezonansa girilen sıkma devri 1515 d/d olarak tespit edilmektedir. Bu sonuçlara göre

Tablo 1. Ses düzeyi analizleri sonucundaki bulgular (Findings of the noise level analysis)

Faktör	Değerlendirme
GÖVDE YAN PANEL DERİNLİĞİ	Gövde yan panel şekli ve derinliği titreşim sönümlendirici etkisi ile gövdenin doğal frekansını arttırmakta ve çamaşır makinesinin rezonansa girdiği sıkma devrini arttırmaktadır.
GÖVDE KALINLIĞI	Gövde kalınlığı 0,7 -0,9 mm olan iki farklı ürünle yapılan testlerle titreşim frekansları ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devirleri incelenmiştir. Yan panel formunun derinliğinin artırılması sonucunda rezonansa girilen sıkma devrinde farklılık gözlenmiştir.
MOTOR İZOLASYONU	İki farklı izolasyon malzemesine sahip motorlarla yapılan ölçümlerde farklı sonuçlar elde edilmektedir. Buna göre yapılan analizlerde A tipi izolasyon malzemesine sahip motorunun ses gücünün daha düşük olduğu belirlenmiştir.
KAYIŞ KALINLIĞI	Motor, kasnak ve tahrik grubu eksenin en uygun olarak belirlenen kalınlık değerine olabildiğince yakın üretilmiş kayışlarla ses problemi düşük seviyelerde tutulabilmektedir. Kayış kalınlığının dar tolerans aralıklarında tutulması zor olduğundan ve geniş tolerans aralıklarında da üst toleransa sapmalarının istenmeyen bir durum olmasından dolayı kayış kalınlığının nominal değerlerde tutulması gerektiği belirlenmiştir.

beklenmektedir. Bu çerçevede çalışma kapsamında geliştirilen çözüm yaklaşımının, karar verme sürecini kolaylaştırması amaçlanmıştır.

4. ÇAMAŞIR MAKİNESİNİN SES DÜZEYİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ (IMPROVEMENT OF THE WASHING MACHINE'S NOISE LEVEL)

Çamaşır makinesinin ses düzeyi için önceki bölümlerde de değinildiği gibi “makinenin rezonansa girdiği sıkma devri” ve “makinenin ses gücü” olarak tanımlanan 2 adet performans yanıtı tanımlanmaktadır. Çamaşır makinesinin farklı tasarım özellikleri her iki yanıtı da etkileyebilmektedir. Makinenin rezonansa girdiği sıkma devrinin yüksek olması ses düzeyi için oldukça önemlidir. Çünkü makine rezonansa girerek aşırı titreşim yaptığı zaman, ön kapağın tutamağından, ısıtıcısına kadar her yeri ses yapabilmektedir.

Gövde kalınlığı ve gövde yan panel derinliği değiştirilerek makinenin rezonansa girdiği devrin yukarı (örneğin 1600 devir/dakika (d/d)'nin üzerine) çekilebileceğini düşünen firma tarafından aşağıda belirtilen bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Firma makinenin rezonansa girdiği sıkma devrini yukarı çekmek için yeni tip bir gövde yan panel formu tasarlamıştır. Firma tarafından sadece gövde yan panel tipi ile gövde kalınlığı dikkate alınarak yapılan deneylerle makinenin rezonansa girdiği sıkma devri değerleri elde edilmiştir. Ancak deneylerden elde edilen ölçüm sonuçlarında makinenin rezonansa girdiği sıkma devrine ilişkin farklı değerler elde edildiği görülmektedir. Örneğin yeni tip yan panel formu ve 0,9 mm gövde kalınlığında makine 1470

gövde kalınlığı ve gövde yan panel derinliğinin farklı seviyeleriyle uygulanan birbirinden bağımsız deneylerin sonuçlarına göre, makinenin rezonansa girdiği sıkma devrinde farklılaşmaların meydana geldiği görülmektedir.

Motor izolasyonunda, motor üzerine konan polimer bazlı bir folyo ile ses düzeyi düşürülmeye çalışılmaktadır. Döner parçalarda pürüzlülük ne kadar azalır, ses de o kadar düşmektedir. Burada pürüzlülüğü çok düşük bir parça ile mükemmel yakın bir ses seviyesi yakalamak mümkündür. Ancak bu motorun ömrünün kısa olması anlamına geleceği gibi, çamaşır makinesinde bu kadar pahalı bir izolasyon parçası kullanmak faydalı değildir. Firmanın üretimde kullandığı iki farklı izolasyon malzemesi (A tipi, B tipi) bulunmaktadır.

Kayış üretim süreci ise oldukça zordur. Özellikle kayış kalınlığını dar tolerans aralıklarında tutmak imkânsızlaşmaktadır. Bu sebeple geniş gözüken kalınlık toleransında üst toleransa sapmalar sesi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle kayış kalınlığının olabildiğince nominalde tutulması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen açıklamalar doğrultusunda çamaşır makinesinin farklı tasarım unsurlarının farklı seviyelerinde makinenin rezonansa girdiği sıkma devri ve makinenin ses gücü değerlerinde farklı neticeler elde edilebilmektedir. Bu nedenle firma mühendisleri ile yapılan değerlendirmeler neticesinde yukarıda bahsedilen hususlar ve firmanın geçmişteki tecrübeleri dikkate alınarak 4 adet faktörün 2 şer seviyesi ile Taguchi tasarımının oluşturulması

kararlaştırılmıştır. Taguchi tasarımında kullanılan ses düzeyine etki eden faktörlere ilişkin seviyeler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Kontrol değişkenleri (Control variables)

FAKTÖRLER	SEVİYE 1	SEVİYE 2
A) GÖVDE YAN PANEL DERİNLİĞİ	ESKİ TİP	YENİ TİP
B)GÖVDE KALINLIĞI	0,7 mm	0,9 mm
C) MOTOR İZOLASYON TİPİ	A TİPİ	B TİPİ
D) KAYIŞ KALINLIĞI	NOMİNAL DEĞER	ÜST TOLERANS DEĞERİ

Ses düzeyine ait iki yanıtın ÇKKV yöntemlerinden faydalanılarak teke indirgenebilmesi için iki yanıtın önem derecelerine göre ağırlıklandırılması gerekmektedir. Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda makinenin ses gücü için kriter ağırlığı $W_1=0,7$ ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devri içinse kriter ağırlığı $W_2=0,3$ olarak tespit edilmiştir.

Taguchi yöntemi farklı parametrelerin, farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamak için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren tüm kombinasyonlar için oldukça fazla deneysel çalışma yapılması gereken durumlarda Taguchi yönteminde ortogonal dizi tablosu kullanılarak (Ek-2) çok daha

az sayıda deneysel çalışmayla sonuca ulaşmak mümkündür [2]. Her biri iki seviyeli dört faktörlü çamaşır makinesinin ses gücü performansı için uygun tasarım olarak L8 ortogonal dizi seçilmiştir (Ek-2). Faktör kombinasyonları ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda çamaşır makinesinin ses düzeyi ve rezonansa girdiği sıkma devri için 10 denemeye ait verilerin ortalama değerleri ve S/N oranları hesaplanmıştır (Tablo 3). S/N hesaplamalarında ses düzeyi için “en küçük en iyi”, makinenin rezonansa girdiği sıkma devri içinse “en büyük en iyi” koşulu dikkate alınmıştır. Ardından çalışmanın bir önceki bölümünde ayrıntılı olarak uygulama adımları verilen ÇKKV yöntemleri ayrı ayrı uygulanarak hem ortalamalar hem de S/N oranları için iki adet performans yanıtı tek bir yanıtı dönüştürülmüş ve böylece problem tek yanıtı bir eniyileme problemi haline getirilmiştir (Tablo 4). Ardından tek yanıtı problem Taguchi yöntemi prensiplerine uygun olarak çözülerek her yöntem için en iyi faktör seviyeleri elde edilmiştir (Tablo 5).

Farklı ÇKKV yöntemlerinin uygulaması sonucunda GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile aynı sonuçlar (faktör seviyeleri) elde edilmiştir. GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile en iyi faktör seviyeleri $A_2B_2C_1D_1$ kombinasyonu ile ses seviyesi 51 (dBA) ve rezonansa girilen sıkma devri 1680 (d/d) olarak tespit edilmektedir.

Tablo 3. Deney sonuçları (Experimental results)

Senaryo	Faktör Kombinasyonları				Ortalama değerler		S/N oranları	
	(L8)				ses gücü (dBA)	rezonansa girilen sıkma devri (d/d)	ses gücü (dB)	rezonansa girdiği sıkma devri(dB)
	A	B	C	D				
1	1	1	1	1	63,70	1320	-36,08	62,41
2	1	1	2	2	64,30	1305	-36,16	62,31
3	1	2	1	2	57,40	1470	-35,18	63,35
4	1	2	2	1	57,10	1470	-35,13	63,35
5	2	1	1	2	59,60	1410	-35,50	62,98
6	2	1	2	1	59,70	1380	-35,52	62,80
7	2	2	1	1	51,00	1680	-34,15	64,51
8	2	2	2	2	52,00	1620	-34,32	64,19

Tablo 4. ÇKKV yöntemlerinin uygulama sonuçları (Application results of MCDM methods)

Senaryo	GRA (Ortalama)	GRA (S/N)	TOPSIS (S/N)	VIKOR (Ortalama)	VIKOR (S/N)
1	0,5180	0,3429	0,0408	0,9557	0,9588
2	0,5330	0,3333	0,0000	1,0000	1,0000
3	0,5160	0,4923	0,4887	0,4930	0,5129
4	0,5250	0,5002	0,5098	0,4738	0,4937
5	0,4980	0,4242	0,3262	0,6576	0,6756
6	0,5180	0,4140	0,3145	0,6760	0,6945
7	0,8000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
8	0,7200	0,8325	0,9113	0,0879	0,0928

Tablo 5. GRA, TOPSIS ve VIKOR değerleri için ortalama seviyeler (Level averages on GRA, TOPSIS, and VIKOR values)

Faktörler	GRA (Ortalama Değerler)		GRA (S/N)		TOPSIS (S/N)		VIKOR (Ortalama Değerler)		VIKOR (S/N)	
	Seviye1	Seviye 2	Seviye1	Seviye 2	Seviye1	Seviye 2	Seviye 2	Seviye 1	Seviye 1	Seviye 2
A	0,5231	0,6338	0,4172	0,6677	0, 2599	0,6380	0,7306	0,3554	0,7414	0,3658
B	0,5166	0,6403	0,3786	0,7063	0, 1704	0,7275	0,8223	0,2637	0,8323	0,2749
C	0,5830	0,5739	0,5649	0,5200	0, 4639	0,4339	0,5266	0,5594	0,5368	0,5703
D	0,5901	0,5669	0,5643	0,5206	0, 4663	0,4316	0,5264	0,5596	0,5368	0,5703

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Çalışmanın bu bölümünde ses düzeyi kalite karakteristiği için başlangıç koşulları ile uygulama sonucunda elde edilen en iyi faktör seviyeleri için

bulunan sonuçlar arasındaki kıyaslamalara ve duyarlılık analizlerine yer verilmiştir. Ses düzeyi performans yanıtları için başlangıç koşulları, ses gücü için 72,5 (dBA) ve makinenin rezonansa girdiği sıkma devri için 1000 d/d olarak bilinmektedir. ÇKKV

Tablo 6. Doğrulama deneyi sonuçları (Results of the confirmation experiment)

Yanıt	Başlangıç Koşulu	ÇKKV Yöntemleri tabanlı Taguchi yöntemi sonuçları
Ses Düzeyi (Ortalama) (dB)	72,50	51,00
Ses Düzeyi (S/N) (dB)	-37,21	-34,15
Makinenin rezonansa girdiği sıkma devri (Ortalama) (d/d)	1000	1680
Makinenin rezonansa girdiği sıkma devri (S/N) (dB)	60,00	64,51

Tablo 7. Beklenen gelişme (Anticipated improvement)

Yanıt	ÇKKV tabanlı Taguchi yöntemi sonuçlarına göre elde edilen iyileşme
Ses Seviyesi (ortalama değer)	%29,66
Ses Seviyesi (S/N oranı)	3,06 dB artış
Makinenin rezonansa Girdiği sıkma Devri (ortalama değer)	% 68,00
Makinenin rezonansa Girdiği sıkma Devri (S/N oranı)	4,51 dB artış

Tablo 8. Farklı yanıt ağırlıkları ile duyarlılık analizi (Sensitivity analysis for different response weights)

Yöntemler	Ağırlıklar		Faktör seviyeleri	Ses gücü (Ortalama)	Ses gücü S/N	Rezonansa girilen sıkma devri (Ortalama)	Rezonansa girilen sıkma devri S/N
	W ₁	W ₂					
GRA	0,3	0,7	A1B1C2D1	64,00	-36,12	1327	62,46
	0,5	0,5	A2B1C2D1	59,70	-35,52	1380	62,80
	0,7	0,3	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
TOPSIS	0,3	0,7	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
	0,5	0,5	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
	0,7	0,3	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
VIKOR	0,3	0,7	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
	0,5	0,5	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51
	0,7	0,3	A2B2C1D1	51,00	-34,15	1680	64,51

yöntemleri tabanlı Taguchi L8 tasarımı uygulaması ile elde edilen faktör kombinasyonları ile yeni değerler elde edilmiştir (Tablo 6 ve 7). Buna göre iyileşme düzeyi ses gücü ortalama değerler için %29,66, S/N oranları için 3,06 dB; rezonansa girilen sıkma devri ortalama değerler için %68, S/N oranları için 4,51 dB olarak elde edilmektedir.

İki yanıtı ses düzeyi kalite karakteristiğine uygulanan ÇKKV yöntemlerinde makinenin ses gücü ve rezonansa girdiği sıkma devri yanıtlarının önem derecesini belirlemede kullanılan ağırlıklar değiştirilerek, sonuçlarında bir değişiklik olup olmadığına bakılmak suretiyle duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 8'de görüldüğü üzere, ÇKKV yöntemleri için ağırlıklar çalışmadaki uygulamadan farklı olarak $W_1=0,3$ ve $W_2=0,7$ ve $W_1=0,5$ ve $W_2=0,5$ olarak alınarak en iyi faktör seviyeleri yeniden belirlenmiş ve çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre yapılan hesaplamalarda, ağırlıkların makinenin ses gücü için $W_1=0,7$ ve rezonansa girdiği sıkma devri için $W_2=0,3$ olarak alındığı durum dışındaki diğer alternatiflerde daha iyi bir çözüm elde edilememiştir. Bunun dışında ağırlık değişimlerine sadece GRA yöntemi duyarlılık göstermiş ve en iyi faktör seviyeleri diğer yöntemlerden farklı hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada çamaşır makinesi üretimi yapan bir işletmede, ürünün kalite karakteristiklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Ürünün kalite karakteristiklerine etki eden faktörler belirlenmiş ve iki yanıtı ses düzeyi kalite karakteristiği için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte kullanılarak ürün kalitesini en iyi duruma getiren faktör seviyeleri tespit edilmiştir.

Firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda öncelikle ürün kalite karakteristiğine etki eden faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. 2 seviyeli 4 faktörlü ses düzeyi kalite karakteristiği için Taguchi yönteminde L8 ortogonal dizi kullanılmıştır. Böylece örneğin faktöriyel tasarımda $24=16$ deney yapılması yerine Taguchi yöntemiyle 8 adet deney yapılmıştır.

İki yanıtı ses düzeyi kalite karakteristiği için ÇKKV yöntemleri ile Taguchi yöntemi birlikte kullanılmıştır. ÇKKV yöntemlerinden GRA, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin üçünün uygulama sonuçlarında aynı en iyi faktör seviyeleri elde edilebilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çamaşır makinesinin ses düzeyinde başlangıç koşullarına göre önemli düzeyde iyileşmeler elde edilebilmiştir.

Gelecekteki çalışmalarda çok yanıtı ürün kalite karakteristiğinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde GRA, TOPSIS ve VIKOR metodlarının çok kullanışlı olduğu görülmektedir. İleriki çalışmalarda çok yanıtı

tasarım problemlerinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri ile Taguchi yöntemi uygulaması imalat, finans ve hizmet sektörlerindeki farklı problemlere uygulanabilir.

Çalışmada Taguchi yöntemiyle birlikte GRA, TOPSIS ve VIKOR metodlarının kullanılması çok yanıtı problemin tek yanıtı probleme indirerek eniyilemesinde önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan VIKOR, TOPSIS ve GRA yöntemleri ile birlikte ÇKKV literatürünün temel yöntemlerinin kapsanması sağlanmıştır. İleriki dönemki çalışmalarda, bu çalışma kapsamında kullanılmayan diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin (örneğin ELECTRE ve PROMETHEE v.b.) benzer problemlerin çözümünde Taguchi yöntemi ile birlikte uygulanmaları üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Güral, G., Gaz Kaynağında proses parametrelerinin optimizasyonu, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi Eylül, İzmir, 2003.
2. Gökçe G, Taşgetiren S., "Kalite için Deneysel Tasarım", **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**. 6(1), 71-83, 2009.
3. Kumar, S., Satsangi P.S. and Prajapati D.R. Optimization of green sand casting process parameters of a foundry by using Taguchi's method. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, DOI:10.1007/s00170-010-3029-0. 2011.
4. Dovey, S.J., Matthews, A., "Taguchi and TQM quality issues for surface engineered applications", **Surface and Coatings Technology**, 110,86-63,1998.
5. Yang, W.H., Tarn, Y.S., "Design optimization of cutting parameters for turning based on Taguchi method", **Journal of Materials Processing Technology**, 84,122-129, 1998.
6. Ke, C.Y., Chang, C.L., Ju, J.J., Huang, D.R., Huang, R.S., "A Magnetic Design for a Slim Type DVD Actuator", **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 239, 604-606,2002.
7. Canyılmaz, E., Kutay, F., "Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 18(3), 51-63, 2003.
8. Baynal, K., **Çok Yanıtı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilemesi ve Bir Uygulama**, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2003.
9. Jayaram, J.S.R., Ibrahim, Y., "Quality Note: Robustness for Multiple Response Problems Using a Loss Model", **International Journal of Quality Science**, 2(3),199-205, 1997.
10. Lin, J.L. and Lin, C.L., "The use of the orthogonal array with grey relational analysis

- to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics”, **International Journal of Machine Tool and Manufacturing**, 42(2),237-244, 2002.
11. Kuo,Y., Yang T.,Huang G.W., “The use of a grey based Taguchi method for optimizing multi response simulation problems”, **Engineering Optimization** 40(6), 517-528, 2008.
 12. Liao H.C., “Using PCR-TOPSIS to optimise Taguchi’s multi response problem”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 22:649-655, 2003.
 13. Yang, T., Chou,P., “Solving a multiresponse simulation-optimization problem with discrete variables using a multiple- attribute decision making method”, **Mathematics and Computers in Simulation**, 68, 9-21, 2005.
 14. Huang, J.T. and Liao, Y.S., “Optimization of machining parameters of wire –EDM based on grey relational and statistical analyses”, **International Journal of Production Research**, 41(8), 1707-1720, 2003.
 15. Biswas S.A., Datta S., Bhaumik S.,Majumdar G., Application of VIKOR Based Taguchi Method for Multi Response Optimization: a case study in submerged arc welding(SAW), **International Conference on Mechanical Engineering**, ICME 09-RT-35, 1-5,2009.
 16. Tong, L.I., Chen, C.C., Wang, C.H., “Optimization of multi-response processes using the VIKOR method” **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 31, 1049–1057, 2007.
 17. Lan, T-S. “Taguchi optimization of multi objective CNC machining using TOPSIS”. **Information Technology Journal**, 8(6), 917-922, 2009.
 18. Yılmaz, E., Güngör, F., “Gri ilişkisel analiz yöntemine göre farklı sistemlerde optimum takım tutucusunun belirlenmesi”, **İkinci Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi** , Balıkesir, 2010.
 19. Gauri, P.K., Pal, S., “Comparison of performances of five prospective approaches for the multi-response optimization”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 48, 1205 – 1220, 2010.
 20. Ertuğrul İ., Karakaşoğlu N., “Banka şube performanslarının VIKOR yöntemi ile değerlendirilmesi”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 20(1), 19-28, 2009.
 21. Opricovic, S., Tzeng, G.H., “Extended VIKOR Method in Comparison with Other Outranking Methods”, **European Journal of Operational Research**, 178,514-529, 2007.
 22. Opricovic, S., Tzeng, G.H., “Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS”, **European Journal of Operational Research**, 156, 445-455,2004.
 23. Chatterjee P., Athawale, V. M. and Chakraborty, S. “Selection of industrial robot s using compromise ranking and outranking methods”, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 26, 483–489, 2010.

EKLER (APPENDICES)

Ek-1. ÇKKV-tabanlı Taguchi yöntemleri (MCDM-Based Taguchi Methods)

<p>A) VIKOR-tabanlı Taguchi yöntemi VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) metodu, uzlaşık bir sıralama belirlemeyi ve belirtilen ağırlıklar altında uzlaşık çözüme ulaşmayı sağlayan bir yöntemdir [20,21].</p> <p>Çok kriterli uzlaşık sıralamanın temelinde, uzlaşık programlama toplama fonksiyonu olarak kullanılan L_p ölçütü bulunur [21]. J adet alternatifin a_1, a_2, \dots, a_j şeklinde belirtilmesi durumunda a_j alternatifinin i kriterine göre değerlendirme sonucu f_{ij} şeklinde ifade edilebilir. VIKOR yönteminde L_p ölçütü aşağıdaki şekilde kullanılır [20]:</p> $L_{pj} = \left\{ \sum_{i=1}^n [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)]^p \right\}^{1/p}$ $1 \leq p \leq \infty; j = 1, 2, \dots, J$ <p style="text-align: right;">(A1)</p> <p>$n = \text{ölçüt sayısı}$</p> <p>VIKOR yönteminde L_{ij} (veya S_j) ve $L_{\infty j}$ (veya R_j) sıralama ölçütünü belirlemede kullanılır. En büyük grup faydasını ($\min_j R_j$)'den elde edilen değer, çoğunluğa karşı görüştekilerin en küçük kişisel pişmanlığını ise ($\min_j L_{ij}$)'den elde edilen sonuç ifade eder [20,21]. Sonuçta VIKOR yönteminde alternatifler sıralanır.</p> <p>Uzlaşık çözüm F_c, ideal çözüme (F^*) en yakın uygun çözümdür. Uzlaşık terimi, anlaşmanın karşılıklı olarak kabul edilmesi anlamına gelir. $[\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c]$ ve $[\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c]$ ile ifade edilir [20,22]. VIKOR yönteminin Taguchi yöntemiyle birlikte uygulanma adımları aşağıda verilmektedir [15,16]. Açıklamalarda ÇKKV literatüründe kullanılan “kriter” terimi yerine “yanıt”, alternatif yerine ise “senaryo” terimi kullanılmıştır:</p> <p>Adım 1: Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının elde edilmesi.</p> <p>Adım 2: Amaca uygun S/N oranlarının hesaplanması. Uygulamanın bundan sonraki kısımları deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler için de uygulanabilir.</p> <p>Adım 3: Her kriterin (birden fazla performans yanıtı için hesaplanan S/N oranları) en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerler belirlenir. Fayda yanıtı için Eş. (2) kullanılır.</p> $f_i^+ = \max_j f_{ij}; f_i^- = \min_j f_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$ <p style="text-align: right;">(A2)</p>	<p>B) TOPSIS-tabanlı Taguchi yöntemi Aşağıda TOPSIS yöntemiyle Taguchi yönteminin bütünlük uygulama adımları verilmektedir [12,13,17].</p> <p>Adım 1: Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının alınması.</p> <p>Adım 2: Amaca uygun S/N oranlarının hesaplanması [12].</p> <p>Adım 3: Karar matrisinin ve standart karar matrisinin oluşturulması. Adım 2’de hesaplanan S/N oranları kullanılarak karar matrisi (A_{ij}) oluşturulur.</p> $A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: right;">(B1)</p> <p>Standart Karar Matrisi, A_{ij} matrisinin elemanlarından yararlanarak ve aşağıdaki formül kullanılarak normalize edilir ve R_{ij} matrisi elde edilir.</p> $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$ <p style="text-align: right;">(B2)</p> $R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: right;">(B3)</p> <p>Adım 4: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V_{ij}) Oluşturulması. Öncelikle değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir. Daha sonra R_{ij} matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi (V_{ij}) Eşitlik (B4)’deki gibi oluşturulur.</p> $V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$ <p style="text-align: right;">(B4)</p>	<p>C) GRA-tabanlı Taguchi yöntemi İlk olarak 1982 yılında Julong Deng tarafından ortaya konan gri teori; gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır [14,18]. Gri ilişkisel analiz (Grey Relational Analysis-GRA) gri modellemenin alt konularından biri olup, gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottur. Her bir faktör bir dizi (sıra veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir [18]. Çok yanıtlı eniyileme problemlerinde kullanım alanı olan GRA tabanlı Taguchi yönteminin uygulama prosedürü aşağıda açıklanmaktadır [11].</p> <p>Adım 1: Uygun Taguchi deney tasarımı ile deneylerin uygulanması ve deney sonuçlarının alınması.</p> <p>Adım 2: Amaca uygun S/N oranları hesaplanır. Uygulamanın bundan sonraki kısımları deneyler sonucunda elde edilen ortalama değerler için de uygulanabilir.</p> <p>Adım 3: Verilerin normalize edilmesi. Gri sistem teorisinde normalleştirme prosedürüne “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden birisi doğrusal veri önişleme metodudur [14,18]. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “en büyük en iyi”, “en küçük en iyi” ve “nominal en iyi” yanıtlarından hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır [11]. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise doğrusal normalizasyonda küçük değer alan noktalar “1” e yakın değerler alınırken, büyük değer alan noktalar “0” ‘a yakın değerler alacaktır. Buna göre; “Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (C1), “daha düşük daha iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (C2), “nominal en iyi” durumunda normalizasyon için Eşitlik (C3) uygulanır [11,14,18].</p> $x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (C1)$ $x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (C2)$ $x_i(k) = 1 - \frac{ x_i^0(k) - x^0 }{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (C3)$ <p>Eşitliklerde $x_i(k)$; x_0 serisinin normalize edilmiş halini, $x_i^0(k)$; i. alternatifin k. yanıtı değerini, $\min x_i^0(k)$; en düşük performans değerini, $\max x_i^0(k)$; en yüksek performans değerini ifade etmektedir.</p> <p>Adım 4: Referans serisinin belirlenmesi. Referans serisi Eşitlik (C4) kullanılarak belirlenebilir. Alternatiflerin referans serisine yakınsaması amaçlanır.</p> $x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) = (1, 1, 1, \dots, 1) \quad (C4)$
---	--	---

Adım 4: S_j ve R_j değerleri $j=1,2,\dots,J$ için hesaplanır. S_j ve R_j değerleri, j . senaryo için ortalama ve en kötü puanları ifade eder.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (A3)$$

$$R_j = \max [w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (A4)$$

Burada w_i göreceli önemleri gösteren yanıt ağırlıklarını ifade etmektedir. Ağırlıklar toplamı 1'e eşit olmalıdır.

Adım 5: Q_j değerleri tüm $j=1,2,\dots,J$ için hesaplanır (Eş. 5).

$$Q_j = v(S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*) / (R^- - R^*) \quad (A5)$$

Burada; $S^* = \min_j S_j$; $S^- = \max_j S_j$; $R^* = \min_j R_j$; $R^- = \max_j R_j$; v değeri ise yanıtların ağırlıklılığı ifade etmektedir. " v " değeri en büyük grup faydasını sağlayan ağırlığı ifade ederken, $(1-v)$ çoğunluğa karşıt görüştekilerin en küçük pişmanlığının ağırlığını ifade etmektedir [20].

VIKOR uygulamasında genellikle uzlaşma, "çoğunluk oyu" ($v > 0,5$) ile, "konsensus" ($v = 0,5$) ile veya veto" ($v < 0,5$) ile sağlanabilir. Uygulamada ise genellikle "konsensüs" kullanılmaktadır [15,16,23].

Adım 6: S , R ve Q değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak senaryoların sıralaması belirlenir. Q değerlerine göre oluşturulmuş sıralama yanıt olarak alınır [19,21]. VIKOR metodunda diğer ÇKKV metotlarından farklı olarak senaryoların sıralamasında en düşük değer en iyi faktör seviyelerini sağlamaktadır.

Adım 7: Bir önceki adımda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları VIKOR indeksini minimize edecek şekilde hesaplanır. Örnek olarak Taguchi'nin L8 tasarımında faktör A'nın 1. seviyesi için ortalama değer (M_{A1}) Eş. (6) ile hesaplanabilir.

$$M_{A1} = \frac{1}{4}(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \quad (A6)$$

Adım 5: İdeal (A^+) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması.

$A^+ = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ şeklinde gösterilebilir.

$$A^+ = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\min_j v_{ij} \mid j \in J \right) \right\} \quad (B5)$$

$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilebilir.

$$A^- = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid j \in J \right), \left(\max_j v_{ij} \mid j \in J \right) \right\} \quad (B6)$$

Gerek ideal gerekse negatif ideal çözüm seti, değerlendirme faktörü sayısı yani m elemandan oluşmaktadır. Her iki formülde de J fayda (maksimizasyon), J ise kayıp (minimizasyon) değerini göstermektedir.

Adım 6: Ayırım ölçütlerinin ve ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması. Elde edilen karar noktalarına ilişkin sapma değerleri ise İdeal Ayırım (S_i^+) ve Negatif İdeal Ayırım (S_i^-) Ölçüsü olarak adlandırılmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (B7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (B8)$$

Burada hesaplanacak S_i^+ ve S_i^- sayısı doğal olarak karar noktası sayısı kadar olacaktır. Her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^+) hesaplanmasında ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan ölçüt, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlik (B9) kullanılır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (B9)$$

Burada C_i^+ değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında değer alır ve $C_i^+ = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^+ = 0$ ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir.

Adım 7: Bir önceki adımlarda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları hesaplanır. Hesaplama her bir faktörün, her bir seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Örnek olarak L8 tasarımda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (B10) ile hesaplanabilir [12,17].

$$M_{A1} = \frac{1}{4}(C_1^+ + C_2^+ + C_3^+ + C_4^+) \quad (B10)$$

x_0 : Alternatif i^* nin k . yanıtının performans değerini göstermektedir. X_0 serisi ile karşılaştırılacak m adet seri Eşitlik (C5)'de tanımlanmaktadır.

$$x_i(x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (C5)$$

Adım 5: Gri ilişkisel katsayısının hesaplanması. k , n uzunluğundaki serideki k . sırayı göstermek üzere $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$, k . noktadaki gri ilişkisel katsayı olup, Eşitlik (C6-C9)'a göre hesaplanır [11,14,18].

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \xi \Delta_{max}}{\Delta_{0i} + \xi \Delta_{max}} \quad (C6)$$

$\xi \in (0,1)$ arasındaki bir ayırım katsayıdır.

$$\Delta_{0i} = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (C7)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)|; J = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n. \quad (C8)$$

$$\Delta_{max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)|; J = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n. \quad (C9)$$

Adım 6: Gri ilişkisel derecenin hesaplanması. Gri ilişkisel derece bir sistemdeki x_i serisi ile x_0 referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecenin büyüklüğü x_i ile x_0 arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1'dir. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriyeye ne kadar benzer olduğunu gösterir. Eğer her bir kriterin ağırlıkları ($W_i(k)$) belirlenirse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir (Eşitlik (C10))[14,18].

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \cdot (W_i(k)) \quad (C10)$$

Referans seri, kriterlerin (yanıtlar) alması istenen en büyük, en küçük ve nominal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serinin referans seriyeye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi, kriterleri kapsama derecesinin bir göstergesi olacaktır. Gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif/tasarlanan deneyler) en iyi alternatifi tanımlayacaktır [14,18].

Adım 7. Bir önceki adımda alternatifler sıralandıktan sonra Taguchi yöntemi prensiplerine göre faktör seviyelerinin ortalama yanıtları hesaplanır. Hesaplama her bir faktörün, her bir seviyesi için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Örnek olarak L8 tasarımda faktör A'nın 1.seviyesi için ortalama değer Eşitlik (C11) ile hesaplanabilir [11].

$$M_{A1} = \frac{1}{4}(\gamma(x_0, x_1) + \gamma(x_0, x_2) + \gamma(x_0, x_3) + \gamma(x_0, x_4)) \quad (C11)$$

Ek-2. Taguchi'nin ortogonal dizi tablosu (Taguchi's orthogonal array table) [2]

Seviye sayısı		2		3		4		5				
Faktör Sayısı	P=2	S=2	L,4	P=2	S=3	L9	P=2	S=4	L,16	P=2	S=5	L,25
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=4		P=3	S=5	
	P=4	S=2		P=4	S=3		P=4	S=4		P=4	S=5	
	P=5	S=2	L,8	P=5	S=3	L18	P=5	S=4	P=5	S=5		
	P=6	S=2		P=6	S=3		P=6	S=4	P=6	S=5		
	P=7	S=2	L,11	P=7	S=3	L27	P=7	S=4	L,32	P=7	S=5	L,50
	P=8	S=2		P=8	S=3		P=8	S=4		P=8	S=5	
	P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=4		P=9	S=5	
	P=10	S=2	L,16	P=10	S=3	L36	L,32	P=10	S=4	P=10	S=5	
	P=11	S=2		P=11	S=3			P=11	S=5			
	P=12	S=2	L,32	P=12	S=3	L36	L,32	P=12	S=5			
	P=13	S=2		P=13	S=3			P=12	S=5			
	P=14	S=2		P=14	S=3			L,50				
	P=15	S=2		P=15	S=3							
	P=16	S=2		P=16	S=3							
	P=17	S=2		P=17	S=3							
	P=18	S=2		P=18	S=3							
	P=19	S=2		P=19	S=3							
	P=20	S=2		P=20	S=3							
	P=21	S=2		P=21	S=3							
	P=22	S=2	P=22	S=3								
	P=23	S=2	P=23	S=3								
	P=24	S=2	L,32	L36	L,50							
	P=25	S=2										
	P=26	S=2										
	P=27	S=2										
	P=28	S=2										
	P=29	S=2										
	P=30	S=2										
	P=31	S=2										