

Otobüs Yedek Parça Üretiminde Ölçüm Sistem Analizi Uygulaması

Ümit KUVVETLİ¹, Alper VAHAPLAR², Ali Rıza FİRUZAN³, Ali Çağlar ÖNÇAĞ⁴

Özet

Rekabet ortamının giderek artması sonucu işletmeler, maliyetlerini düşürmek ve aynı zamanda kalitelerini arttırmak zorunda kalmaktadır. Bu durum işletmeleri çeşitli kalite iyileştirme tekniklerinden yararlanmaya yönlendirmiştir. Altı Sigma başta olmak üzere çoğu kalite iyileştirme yöntemleri veri odaklı yaklaşımlar olup, bu yöntemlerin başarılı olmasının ilk şartı kullanılan verilerin güvenilir olmasıdır. Bu durum kalite iyileştirme çalışmalarında, ilk adım olarak verilerin elde edildiği ölçüm sistemlerinin güvenilirliğinden emin olunmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, bir otobüs yedek parçasının ölçümünde kullanılan sistemin güvenilirliği iki farklı yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. Her iki yöntemde kullanılan ölçüm sisteminin kabul edilebilir seviyede yeterli olduğu fakat iyileştirme fırsatları içerdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gage R&R, kalite iyileştirme, ölçüm sistemleri analizi

Jel Kodu: C19, C46, C83

Application of Measurement System Analysis in Bus Spare Parts Production

Abstract

As a result of the increasing competitive environment, companies must reduce their costs but at the same time they must increase their quality level. This situation has canalized companies to benefit from various quality improvement methods. Most quality improvement methods, especially Six Sigma, are data-oriented approaches, and the first condition for the success of these methods is that the data used is reliable. Therefore, it is necessary to ensure the reliability of the measurement systems from the data are obtained as a first step in quality improvement studies. In this study, the reliability of the system used in the measurement of a bus spare part has been analyzed using two different methods, Average-Range Method and ANOVA. It has been concluded that the measurement system according to both methods is acceptable but contains opportunities for improvement.

Keywords: Gage R&R, quality improvement, measurement system analysis

Jel Codes: C19, C46, C83

ATIF ÖNERİSİ (APA): Kuvvetli Ü., Vahaplar A., Firuzan A.R., Önçağ A.Ç., (2022). Otobüs Yedek Parça Üretiminde Ölçüm Sistem Analizi Uygulaması. *İzmir İktisat Dergisi*. 37(3). 655-672. Doi: 10.24988/ije.1033763

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Bakırçay Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme, Menemen / İzmir, Türkiye
EMAIL: umit.kuvvetli@bakircay.edu.tr **ORCID:** 0000-0002-9567-3675

² Dr. Öğr. Üyesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik, Buca / İzmir, Türkiye

EMAIL: alper.vahaplar@deu.edu.tr **ORCID:**0000-0002-3566-3870

³ Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik, Buca / İzmir, Türkiye **EMAIL:** aliriza.firuzan@deu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-8337-2349

⁴ Dr., ESHOT genel Müdürlüğü, Kalite ve Kurumsal Gelişim Dairesi Başkanlığı, Buca /İzmir, Türkiye

EMAIL: acaglar@eshot.gov.tr **ORCID:**0000-0002-1751-1785

1. GİRİŞ

Altı Sigma, süreçlerdeki varyasyona odaklanarak, tutarsız ürün/hizmet performansı, yüksek hurda oranı, yeniden işleme, garanti maliyetleri, müşteri memnuniyetsizliği gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan, değişkenliği ortadan kaldırarak veya en aza indirerek süreçlerde iyileştirmeyi sağlamak için çeşitli istatistiksel tekniklerin kullanıldığı bir metodolojidir. Tanımlama (Define), Ölçme (Measure), Analiz (Analyze), İyileştirme (Improvement) ve Kontrol (Control) aşamalarından oluşan DMAIC problem çözme metodolojisini kullanan Altı Sigma, günümüzde birçok farklı alanda uygulanmakta ve çok başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Veri odaklı bir yaklaşım olan Altı Sigma'da iyileştirme projelerinin başarısı, ölçüm sistemine doğrudan bağlı temel performans göstergelerine dayalı olarak ölçülür. Dolayısıyla, herhangi bir iyileştirme projesine başlamadan önce, kullanılan ölçüm sisteminin yeterliliğinden emin olmak gerekmektedir. Ölçüm sistemindeki eksiklikler, yapılan iyileştirme çalışmalarının amaca ulaşmasını engelleyecek düzeyde olabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, herhangi bir kalite iyileştirme çalışmasına başlamadan önce öncelikle ölçüm sisteminin yeterliliğinin analiz edilmesi ve ölçüm sisteminin süreçteki değişkenliği doğru ölçebildiğinden emin olunması kritiktir.

Ölçüm verilerinin kalitesi, kararlı koşullar altında çalışan bir ölçüm sisteminden elde edilen çoklu ölçümlerin istatistiksel özellikleri ile tanımlanır. Örneğin, kararlı koşullar altında çalışan bir ölçüm sisteminin belirli bir karakteristiğe sahip birkaç ölçüm elde etmek için kullanıldığını varsayalım. Ölçümlerin tümü karakteristik için ana değere yakınsa, verilerin kalitesinin "yüksek" olduğu söylenir. Benzer şekilde, ölçümlerin bazıları veya tümü ana değerden uzaksa, veri kalitesinin "düşük" olduğu söylenir. Veri kalitesini karakterize etmek için en yaygın olarak kullanılan istatistiksel özellikler, ölçüm sisteminin yanlılığı ve varyansıdır. Yanlılık adı verilen özellik, verilerin bir referans (ana) değere göre konumunu, varyans adı verilen özellik ise verilerin yayılmasını ifade eder (Ölçüm Sistemleri Analizi Çalışma Grubu [MSA], 2010).

Ölçüm sisteminin kalitesinin düşük olması, elde edilen verileri anlamsız hale getirmenin yanı sıra süreç iyileştirmeyi imkansız hale dahi getirebilir. Ölçüm hatalarının fazla olması, süreç kapasitesinin doğru ölçülmesini önleyerek, kök sebeplerin bulunmasını zorlaştıracak ve sonuç olarak süreç iyileştirme çalışmalarının başarıya ulaşmasını engelleyecektir. Ölçüm sisteminin, herhangi bir süreci değerlendirmede doğrudan etkisi olup, yeterli bir süreci yetersiz, yetersiz bir süreci ise yeterli gösterebilme kabiliyeti bulunmaktadır.

İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Altı Sigma'nın ayrılmaz bir parçası olan ölçüm sistemi analizi, endüstrilerin üretim verimini artırmasına, kusurları azaltmasına, maliyeti düşürmesine, süreç kontrolünde ve sürekli iyileştirmede büyük başarı elde etmesine yardımcı olur (Breyfogle, 2003). Ölçüm yöntemi, üretim kontrolünün ve kalite iyileştirmenin ilk adımıdır çünkü bu konuda çalışanlar problemleri analiz etmek ve çözmek için kesin ve doğru verilere ihtiyaç duyarlar (Montgomery, 2005). Kalite uzmanı Harrington, bu konuyu şöyle özetlemiştir: "Ölçüm, kalite kontrole ve iyileştirmeye giden ilk adımdır. Bir şeyi ölçemezseniz anlayamazsınız, anlayamazsanız kontrol edemezsiniz, kontrol edemezseniz, iyileştiremezsiniz." (Spitzer, 2007).

İyi bir ölçüm sisteminin beş özelliği bulunmalıdır. Bunlardan ilki, gerçek ölçülen nesneyle karşılaştırılabilir ölçümleri doğru bir şekilde üretmesidir. İkincisi, aynı nesneye uygulanması halinde ölçüm değerlerinin güvenilir bir şekilde birbirine eşdeğer olmasıdır. Üçüncü özellik, doğru ve tutarlı ölçümler üretilmesidir. Dördüncüsü, bu konuda eğitilmiş herhangi bir kişi tarafından kullanıldığında aynı ölçümleri yeniden üretebiliyor olmasıdır. Son özellik ise, geçmişte ve gelecekte aynı ölçümleri üretebilmek için istikrarlı olmasıdır (Pyzdek ve Keller, 2009).

Gage Tekrarlanabilirliği ve Tekrar Üretilirliği (Gage R&R), ölçüm sisteminin değişkenliğinin izlenen sürecin değişkenliğinden nispeten daha az olup olmadığını belirlemek için kullanılan özel bir

ölçüm sistemi analizi çalışmasıdır (Burdick vd, 2003, Pereira vd, 2016). Genel olarak ölçüm sistemleri analizi Gage R&R olarak da bilinir (Amar, 2010). Buradaki Gage kelimesi, ölçüm alabilmek üzere kullanılan cihazı tarif eder (Barrentine, 2002). R&R ise tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik kelimelerinin İngilizce baş harfleridir (Repeatability & Reproducibility). Gage R&R, günümüz kalite kontrol prosesleri için, ürün ve prostedeki varyasyonu azaltabilmek adına çok önemli bir rol oynar. Sistemler arası ve sistem içindeki varyasyonların toplam değerini verir (Wang, 2004, İlerler, 2015).

Günümüzde özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda ekonomiye ve teknolojiye yön veren kilit sektörlerin başında otomotiv sektörü yer alır. Bu özelliğiyle otomotiv sektörünün çok dinamik bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bu dinamizm müşteri talep ve beklentilerine de yansımış, sorunların ivedilikle çözülmesi gereken sektör halini almıştır. Bunun için, otomotiv sektörü birçok bilimsel yöntemin ilk olarak denendiği ve kullanıldığı sektör olmuştur (Firuzan vd, 2012). Otomotiv sektöründe, otomotiv parçası ve parça imalatı kapsamında, Gage R&R en yaygın ölçüm aracıdır. Genel olarak, parça ve bileşenlerin montaj işlemi sırasında uymasını sağlamak için, kalite operatörleri otomotiv parçalarını ölçmek için çeşitli cihazlar kullanır, böylece teslimatlarının tüm boyutları müşterinin spesifikasyonlarına uygun olur. Ölçüm cihazları, otomotiv ürünlerini analiz etmek ve ürünün kalite performansını iyileştirmek için sıklıkla ve birçok şekilde kullanılır (MSA, 2010).

Bu çalışmada, otobüs yedek parça üretiminde kullanılan bir ölçüm cihazının yeterliliği analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Makalede, bu bölümünden sonra, konu ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, kullanılan yöntem ve veri kaynağı ile ilgili bilgiler paylaşılmış, dördüncü bölümde ise analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Makalenin son kısmında ise elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve sonraki çalışmalar ile ilgili tecrübeler paylaşılmıştır.

2. LİTERATÜR

Çalışmanın bu bölümünde, literatürde yer alan Gage R&R analizi ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların içinde otomotiv, sağlık, ilaç, enerji, plastik, parfüm gibi birçok farklı sektörden çalışma bulunmaktadır.

Gelipgiden (2001) tarafından sunulan tezde; ölçüm sistemlerinin analiz edilmesinde nitel veriler için uygulanan yöntemler ile nicel veriler için uygulanan yöntemler incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada laboratuvar koşullarının ölçüm değerlerinde ne gibi değişikliklere sebep olabileceği, ölçüm sistemi hataları sonucu oluşabilecek üretici ve tüketici riskleri uygulamalı olarak hesaplanarak bir kabul örnekleme de geliştirilmeye çalışılmıştır.

Pan (2006), Altı Sigma çalışmalarından önce ölçüm sisteminin güvenilirliğinin sağlanması gerektiğini belirtmiş, bununla birlikte Gage R&R ile çeşitli süreç yeterlilik indeksleri arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak analiz etmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında ise Tayvan'da yüksek çözünürlüklü mikroskoplar üreten bir LCD firmasındaki sürecin önemli bir aşaması olan mühürleme işlemi için ölçüm sisteminin güvenilirliğini ve yeterliliğini Gage R&R kullanarak analiz etmiştir.

Graham (2006(a), 2006(b)) tarafından yayınlanan ve iki kısımdan oluşan makalede; ölçüm verilerinin neden önemli oldukları ve ölçüm verilerinin kalitesini arttırmak amacıyla hangi yöntemlerin izlenebileceği uygulamalı olarak anlatılmaya çalışılmıştır.

Gao vd. (2007) çalışmalarında, ilaç sektöründeki dissolüsyon test ölçüm sistemlerinin aparat, operatör ve tablet kaynaklı değişkenliğini incelemek üzere Gage R&R kullanmıştır.

Mast ve Wieringen (2007) tarafından yayınlanan çalışmada; niceliksel olmayan ve "nominal" olarak adlandırılan ölçütlerin söz konusu olduğu ölçüm sistemlerinde, standart Ölçüm Sistem Analizi

metotlarının uygulanamayacağından bahsedilmiş ve daha doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla bir istatistiksel model sunulmuştur.

Kavi ve Eevli (2008), çalışmalarında sofrta camı üreten bir işletmede camın kalınlık ve uzunluk ölçümleri için kullanılan farklı ölçüm cihazlarının yeterliliğini Ortalama-Aralık metodu ve Varyans Analizi metodunu kullanarak analiz etmişlerdir.

Erdman vd. (2010) çalışmalarında Gage R&R analizini, hemşirelerin kulak termometresi ile yaptıkları vücut sıcaklığının ölçümlerinin analizinde kullanmışlardır. Çalışmada yapılan ölçümlerin güvenilirliğinin %99 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ren (2015), bir otomotiv firmasının, uygun olmayan ürünleri müşterilerine göndermesine sebep olan ölçüm sistemlerinde yaşanan bir sorunun çözümünde Altı Sigma metodolojisi ile Gage R&R yöntemini birlikte kullanmış ve yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu problemin kök nedenlerini belirlemiş ve ölçüm sisteminin performansını iyileştirmiştir.

İlerler (2015), tezinde bir dijital X- ışını radyoaktif cihazı ile farklı malzemelerden üretilen parçalar ile yapılan radyoaktif çekimler üzerinde ölçüm çalışmaları yapmış ve ilgili ölçüm sisteminin yeterliliğini analiz etmiştir. Yapılan analizler sonucunda her iki parçanın da ilgili kriterlere uygun olduğu ve kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.

Beckett ve Paim, 2017 yılındaki çalışmalarında, endüstriyel proses izleme ve ürün muayenesinin gerçekleştirilmesinde uygun ölçüm sistemlerinin kullanılmasının önemini belirtmişler ve bu amaçla kullanılan ölçüm sistemlerin kabul kriterlerine çeşitli eleştirilerde bulunmuşlardır. Ayrıca çalışmada, bir ölçüm sisteminin değişkenliğinin tolerans değişkenliğinin %30'undan daha düşük olmasının ölçüm sisteminin kabul edilebilirliği için yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Aquila vd. (2018) Brezilya'da rüzgar enerjisi üreten dört ana eyalette ortalama rüzgar hızı davranışlarını birden fazla Gage R&R yöntemini iç içe kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, dört eyalete ilişkin aylık rüzgar ortalama hızları kullanılmış ve mevsimsellik, yıllar boyunca tekrarlanan ölçümler ve eyaletler arası rüzgar ortalama hızı arasındaki fark analiz edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre üç faktörün de etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Cebenoyan (2018), parfüm ve esans üretimi yapan bir işletmede maliyetleri azaltmak amacıyla parfüm dolun sürecini incelemiş ve sürecin iyileştirilmesi için çeşitli çalışmalar yapmıştır. Çalışmada ölçüm değişkenliğinin kaynağını belirleyebilmek için ölçüm sistemleri analizi uygulanmış ve iyileştirme yapılması gereken yerler belirlenmiştir.

Bartan (2019) çalışmasında PVC masa örtüsü üreten bir plastik firmasında, üretilen masa örtülerinin genişliğinin ölçüldüğü sürecin modelini kurmuştur. Çalışmada 10 gözlem ile Ortalama-Aralık metodu uygulandıktan sonra, Varyans Analizi için gerekli olan örneklem genişliği hesaplanmış, eksik olan 6şar gözlem elde edildikten sonra bu yöntem kullanılarak da ölçüm sisteminin yeterliliği analiz edilmiştir. Her iki yöntemde de operatörler, sürecin değişkenliğini etkileyen en önemli faktör olarak tespit edilmiş ve bunun iyileştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Wrzochal ve Adamczak (2019) tarafından yapılan çalışmada ise rulmanların titreşimlerini ölçen ölçüm sisteminden elde edilen sonuçlarla en iyi tekrar edilebilirlik ve tekrar üretilebilirlik parametrelerini belirlemek için Gage R&R kullanılmıştır.

Özcan, 2020 yılında savunduğu tez çalışmasında, bir otomotiv sanayii tedarikçisi bir firmada kullanılan iki farklı ölçekteki dijital kumpas için Gage R&R ile birlikte SPC, FMEA, APQP, PPAP gibi çeşitli kalite iyileştirme teknikleri kullanılmıştır. Çalışmada ölçüm sistemlerinde yaşanan sorunların çözülmesi ve kalite iyileştirme tekniklerinin uygulanması ile kalite ve verimlilikte artış yaşandığı vurgulanmıştır.

Satıcı vd. (2020) çalışmalarında beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada programlanabilir güç kaynağı cihazının güç ölçümü için yeterliliğini Gage R&R kullanarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda süreçteki toplam değişkenliğinin %1,3'ünün ölçüm sisteminden, %98,7'sinin ise parça değişkenliğinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Çeşitli göstergeler kullanarak, mevcut ölçüm sisteminin cihazın gücünü ölçmek için yeterli olduğunu göstermişlerdir.

3. YÖNTEM

Gage R&R, ölçüm aletlerinde görülen varyasyon ile ölçüm operatörleri arasındaki varyasyonu ölçmeye yarayan istatistiksel bir yöntemdir (George vd, 2005). Gage R&R, ölçümlerinin tekrarlanabilir ve tekrar üretilebilir olmasını sağlayarak bir ölçme aletinin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan bir süreç olarak tanımlanabilir. Süreç, çıktının girişle aynı değer olduğunu ve aynı ölçümlerin aynı çalışma koşullarında belirli bir süre boyunca elde edildiğini onaylamak için bir dizi ölçüm almaktan oluşur. Gage R&R, gerçek süreç değişkenliğini ortaya çıkarmak için ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenliğin tanımlanması ve sistem değişkenliğinden ayrıştırılmasıdır, sonuç olarak ölçüm sisteminin kapasitesinin tanımlanmasını sağlar.

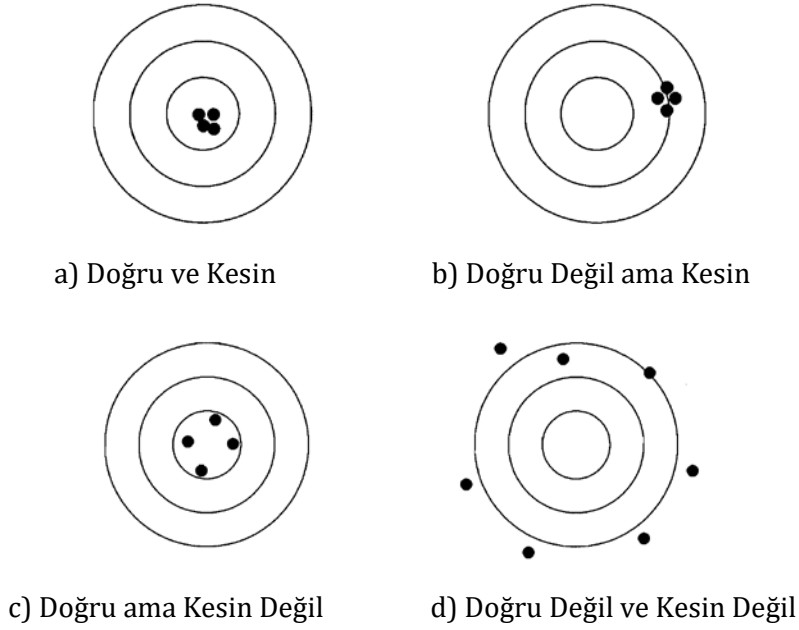
Bir Gage R&R çalışması, ölçüm sisteminin değişkenliğinin sürecin değişkenliğine kıyasla küçük olup olmadığını belirlemeye yardımcı olur, ayrıca değişkenliğin ne kadarlık kısmının operatörlerden kaynaklandığını ve ölçüm sisteminin farklı parçalar arasında ayırım yapıp yapamayacağını belirlenmesini sağlar (Morin vd, 2017).

Ölçüm sonucunun kalitesi, doğruluk ve kesinlik olmak üzere iki ana faktöre bağlıdır. Doğruluk gerçek değerlerin tam şekilde ölçülebilme yeteneği olarak tanımlanırken, kesinlik ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakınlıkları ile tanımlanır (Pandiripalli, 2010). Doğruluk, ölçüm değeri ile ilgili parçanın gerçek değeri arasındaki farktır. Gerçek değer, tekrarlanan ölçüm durumunda tüm ölçümlerin ortalama değeri olarak kabul edilebilir. Kesinlik ise, bir parçanın aynı ölçüm cihazıyla birden fazla kez ölçüldüğünde gözlemlenen varyasyondur. Ölçümler aynı alet, aynı operatör ya da ölçüm sistemi ile tekrarlandığında ölçüm değerleri arasında ciddi farklılıklar ortaya çıkmıyor ise ölçüm sisteminin kesin ölçtüğü söylenilebilir. Şekil 1'de doğruluk ve kesinliğin farklı versiyonları için bir örnek gösterilmiştir.

Bir ölçüm sisteminin doğruluğu, kararlılık, yanlılık ve doğrusallık alt kısımlarından oluşurken, kesinliği, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik kısımlarına ayırmak mümkündür. Tekrarlanabilirlik, ölçüm cihazının temel ve doğal kesinliğidir. Bir ölçüm cihazı ile, aynı ölçüde aynı operatör ile ardışık ölçümler alındığında, ölçüm sonuçları arasındaki varyasyondur. Genel olarak ekipman varyasyonu olarak bilinir (George vd., 2005). Yeniden Üretilebilirlik, birbirinden bağımsız ölçümlerin aynı ölçüm yöntemi ile farklı operatörler ve aynı cihaz kullanılarak alınması ile elde edilen kesinlik varyasyonudur (Benbow ve Broome, 2008). Başka bir deyişle, aynı ölçüm cihazı ile aynı karakteristiğin farklı operatörler tarafından yapılan ölçümlerindeki ortalama varyasyondur (İlerler, 2015). Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Üretilebilirlik, aşağıda Şekil 1 ve Şekil 2 üzerinden de gösterilmiştir.

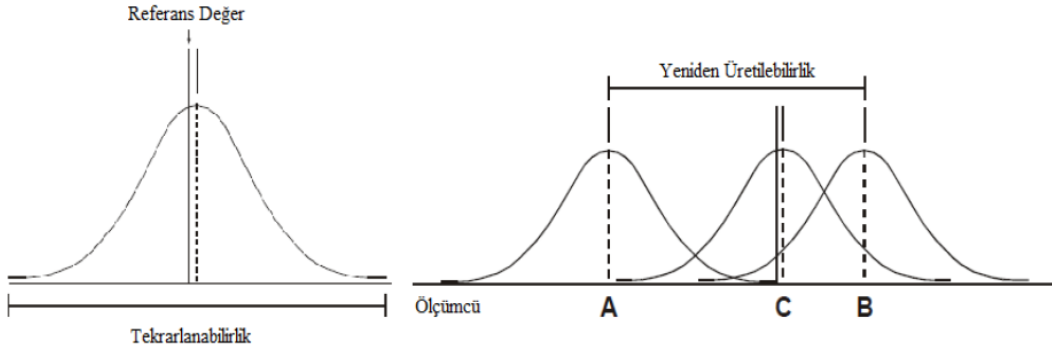
İki yöntem arasındaki temel fark, Ortalama-Aralık yönteminde operatör ve parça arasındaki etkileşim analize dahil edilmez iken, ANOVA'da bu etkileşime ulaşmanın mümkün olmasıdır (Wang, 2004). Ortalama- Aralık yönteminde, genel varyasyon parçadan parçaya, tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik olarak üç parçaya ayrılırken, ANOVA'da tekrarlanabilirlik operatör ve operatör-parça bileşenlerine ayrılır. Wang (2004) her iki yöntem ile elde edilen sonuçların genellikle benzer olması gerektiğini belirtmiştir.

Şekil 1: Doğruluk ve Kesinlik



Kaynak: (DeCarlo, Gygi, & Williams 2005)

Şekil 2: Tekrarlanabilirlik ve Yeniden Üretilirlik



Kaynak: (MSA, 2010, İlerler, 2015)

Ölçüm Sistemleri Analizi Çalışma Grubu'na göre (MSA, 2010), bir ölçüm sisteminin güvenilirliğini üç kritere göre değerlendirilmelidir. İlk kriter, tekrarlanabilirliğin yeniden üretilebilirliğe olan oranıdır. Cihazın bakıma ihtiyacının olması, yeniden dizayn edilmeye ihtiyacının olması, parça içi varyasyonun çok yüksek olması gibi sebepler tekrarlanabilirliğin tekrar üretilebilirliğe göre daha yüksek çıkmasını sağlayabilir. Buna karşın, operatörün ölçü aleti ile ilgili yeterli bilgiye ve eğitime sahip olmaması ile kalibrasyon problemleri tekrar üretilebilirliğin tekrarlanabilirliğe kıyasla daha yüksek çıkmasını sağlayacaktır (MSA, 2010).

İkinci kriter, ölçüm sistemi (tekrarlanabilirlik ve tekrar üretilebilirlik) ile ilgili toplam varyans oranıdır. Bu oranın %10'dan düşük olması ölçüm sisteminin kabul edilebilir olduğunu gösterir iken, %10-%30 arasındaki değerler ölçüm sisteminin, uygulamanın önemi, ölçüm cihazının maliyeti, tamir maliyeti vb. kriterlere göre kabul edilebilir olduğu, %30'un üstündeki değerler ise ölçüm sisteminin kabul edilemez olduğunu ve iyileştirilmesi gerektiği şeklinde yorumlanır (MSA, 2010, Ostle vd, 1996, Wheeler, 2006).

Son kriter ise, analiz sonunda hesaplanan belirgin kategori sayısıdır (the number of distinct categories). Bu değerin 5 veya daha fazla olması istenmekte olup, bu kriterin sağlanmaması ölçüm sisteminin yetersiz ayrımcılığa sahip olduğu şeklinde yorumlanır.

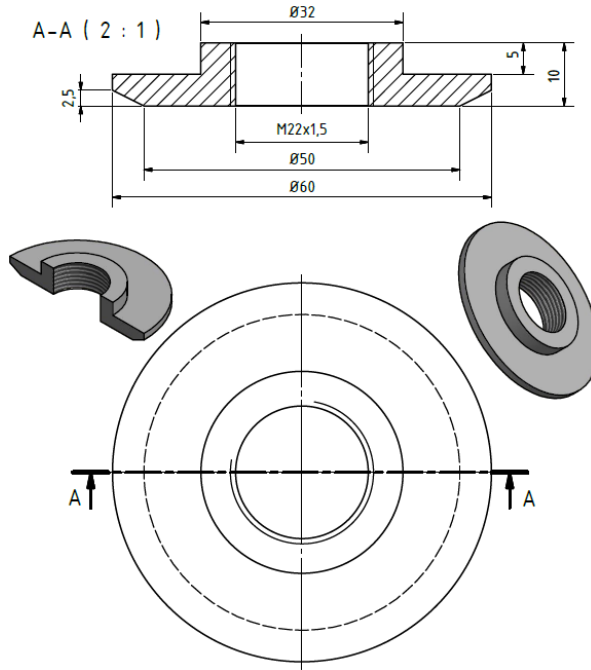
4. UYGULAMA

4.1. Veri Kaynağı

Bu çalışmanın amacı, otobüs yedek parça üretiminde kullanılan ölçüm sistemlerinin yeterliliğinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, TEMSA AVENUE marka ve model otobüslerin motor karter tapa rekoru olarak kullanılan bir parça örnek olarak belirlenmiş ve çalışma gerçekleştirilmiştir. Parçanın teknik çizim ve ölçüleri Şekil 3’de görülmektedir.

Ölçümde kullanılan parçalar (idare bünyesinde bulunan) universal bir torna tezgâhı ile imal edilmiştir. Tüm numuneler aynı tezgâh ile tek bir operatör tarafından ve aynı malzemeden imal edilmiştir. İmalat malzemesi (ISO 683-4) 11SMnPb37 otomat çeliğidir.

Şekil 3: Ölçüm Parçasının Ölçü ve Teknik Çizimi



Ölçüm işlemi öncesi numuneler, 20⁰C derecede 4 saat bekletilmiş olup numunelerin bu sıcaklığa gelmesi sağlanmıştır. Aynı şekilde ölçüm için kullanılan dijital kumpas da laboratuvar ortamında aynı süre bekletilmiştir. Böylelikle sıcaklık değişimi nedeniyle ortaya çıkabilecek ölçüm sonuç farklılıkları minimize edilmiştir. Dijital kumpas TESA Valueline IP67 marka olup 150 mm’ye kadar ölçüm kapasitesine sahiptir ve 0,01 mm çözünürlüğe sahiptir (bkz Şekil 4). Yapılan ölçümler parçanın 32 mm çaplı kısmı için gerçekleştirilmiştir. Söz konusu ölçünün toleransı ± 0.3 mm’dir.

Şekil 4: Ölçüm Kumpası



Otomotiv Endüstrisi Eylem Grubu standartlarına göre, Gage R&R çalışmaları üç operatör 10 parçayı üçer defa ölçeceği şeklinde tasarlanmalıdır. Tüm ölçümler, aynı cihaz, aynı kurulum altında, aynı çevresel koşullar altında gerçekleştirilmeli ve ölçülen parçalar aynı özelliklere sahip olmalıdır. Her operatörün her parçayı rasgele sırayla üç kez ölçmesi gerekmektedir (George vd, 2005, Singpai, 2009). Bununla birlikte, ANOVA yöntemi için mevcut örneklem büyüklüğünün yeterliliği üretici riski, tüketici riski, kabul edilebilir ve kabul edilemez hatalı oranları baz alınarak ayrıca hesaplanmalıdır (Singh, 1966, Kavi ve Elevli, 2008). Çalışmada, istenilen standartlara uygun olarak üç operatörün on parçayı üçer kez ölçmesi sağlanmış ve elde edilen veriler Tablo 1’de özetlenmiştir. Çalışmanın analiz kısmında, hesaplamalar R programlama dili kullanarak RStudio ortamında yapılmıştır. Gage R&R hesaplamaları ve grafikleri için R paketlerinden “qualityTools” paketi (Roth, 2017) kullanılmıştır.

Tablo 1: Ölçüm Sonuçları

		Parça No									
Ölçümcü	Ölçüm No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Operatör-A	1	32,03	32,04	32,01	32,03	31,73	31,92	31,90	32,02	31,93	31,84
	2	32,04	32,06	32,06	32,05	31,75	31,90	31,95	32,03	31,90	31,84
	3	32,02	32,05	32,02	32,07	31,73	31,91	31,97	32,01	31,92	31,84
Operatör-B	1	32,02	32,09	32,05	32,03	31,78	31,90	31,92	32,01	31,96	31,85
	2	32,03	32,05	32,04	32,02	31,74	31,91	31,91	32,02	31,96	31,86
	3	32,02	32,06	32,02	32,00	31,74	31,91	31,91	32,01	31,95	31,85
Operatör-C	1	32,05	32,04	32,01	32,13	31,77	31,91	31,91	32,00	31,93	31,84
	2	32,03	32,03	32,01	32,00	31,78	31,89	31,89	32,02	31,96	31,85
	3	32,03	32,06	32,00	32,07	31,76	31,92	31,91	32,02	31,91	31,85

4.2 Ortalama-Aralık Yöntemi

Çalışmada ilk önce Ortalama-Aralık Yöntemi kullanılarak ölçüm sisteminin yeterliliği test edilmiştir. Tablo 1’deki veriler kullanarak elde edilen Gage R&R sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Varyansa Bağlı Gage R&R Sonuçları

	Bileşen Varyansı	%Katkı
Toplam Gage R&R	0,0002671	2,91
Tekrarlanabilirlik	0,0002671	2,91
Tekrar Üretilirlik	0,0000000	0,00
Parça-Parça	0,0089000	97,09
Toplam Değişkenlik	0,0091670	100,0

Tablo 2’deki analiz sonuçları incelendiğinde, toplam değişkenliğin %97,06’sının parça değişkenliğinden, %2,84’ünün ise ölçüm sisteminden kaynaklandığı görülmektedir. Parçadan olan değişkenliğin oldukça yüksek olması, ölçüm sisteminin parçaları güvenilir bir şekilde ayırt ettiğini

göstermektedir. Ölçüm sistemindeki değişkenliğin ise tamamı tekrarlanabilirlikten kaynaklanmaktadır.

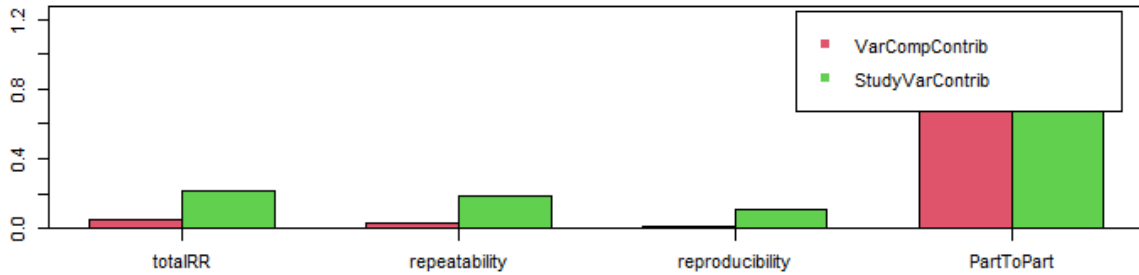
Tablo 3: Standart Sapmaya Bağlı Gage R&R Sonuçları

	Standart Sapma	6 x Std. Sapma	%R&R
Toplam Gage R&R	0,0163418	0,098051	17,07
Tekrarlanabilirlik	0,0163418	0,098051	17,07
Tekrar Üretilirlik	0,0000000	0,000000	0,00
Parça-Parça	0,0943396	0,566038	98,53
Toplam Değişkenlik	0,0957445	0,574467	100,0

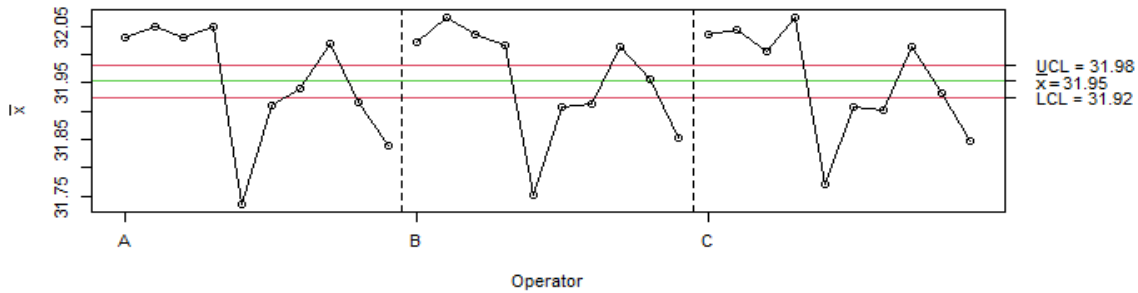
Tablo 3'te gösterilen standart sapmaya bağlı elde edilen Gage R&R sonuçları incelendiğinde ise, toplam %R&R değerinin 17,07 olduğu görülmekte olup, bu değer toplam sistem değişkenliğinin %17,07'sinin ölçüm sisteminden kaynaklandığı şeklinde yorumlanması gerekmektedir. Elde edilen %R&R değeri, ölçüm sisteminin; ölçülen parçanın önemi, maliyet, ölçüm sisteminin kritikliği gibi kriterlere göre kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir (MSA, 2010, Ostle vd, 1996, Wheeler, 2006). Bununla birlikte ölçüm sisteminin iyileştirmeye açık olduğunu da söylemek mümkündür. Analiz sonucunda elde edilen belirgin kategori sayısı (ndc) 8 olarak elde edilmiş olup, bu değer 5 veya daha fazla olması, ölçüm sisteminin parça değişkenliğini ölçebilecek yeterlilikte olduğunu göstermektedir.

Tablo 2'de verilen analiz sonuçları Şekil 5'de de gösterilmiş olup, operatörlerin \bar{X} grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 5: Sistemdeki Değişkenliğin Dağılımı



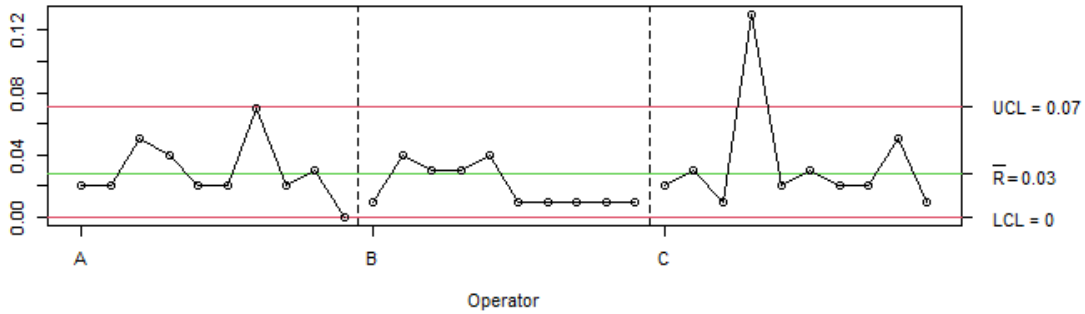
Şekil 6: Sistemdeki Değişkenliğin Dağılımı



Operatör ölçümlerinin ortalama grafikleri, her operatörün tüm ölçümlerinin genel ortalama etrafındaki dağılımını göstermekte olup, parçaların rassallığı ile ilgili fikir vermektedir. Bu sebeple,

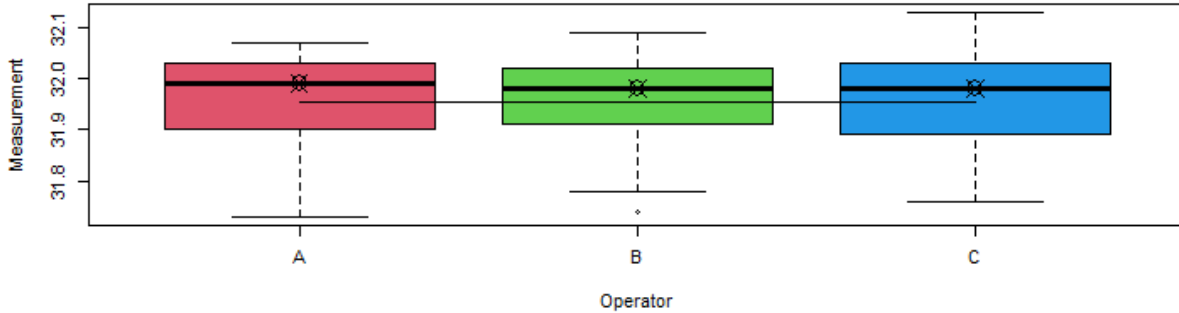
genel yorumların aksine parçaların limitler dışında olması istenir ve limitlerin dışarısında kalan parçaların bulunması parçaların rassal olarak seçildiği şeklinde yorumlanır. Ölçümlerin kontrol dışında olması, parçadan kaynaklanan değişkenliğin ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenlikten daha fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 6 incelendiğinde, her ne kadar limitler arasında ölçümlerin olduğu görülse de genel olarak parçaların rassal seçildiği ve ölçüm sisteminin yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, bu grafiklerde istenen durum, her operatörün şekil olarak benzer desene sahip olmasıdır. Farklı desenlere sahip operatörlerin bulunması, operatör parça etkileşiminin bulunduğu işaret etmektedir. Operatör ölçümleri arasındaki farkları gösteren R grafikleri ise Şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 7: Operatör Ölçümlerinin R Grafiği



R grafiklerinde istenen durum, operatör ölçümleri arasındaki farkın sınırlar içerisinde kalmasıdır. Bu durumun, yapılan ölçümlerin tutarlı olduğunu gösterdiği şeklinde yorumlanır. Şekil 7’de sadece Operatör C’nin 4. ölçümünün limitler dışında olduğu görülmektedir. Bu durum, operatörün bu ölçümü yaparken hata yaptığı ya da herhangi bir dış etkenden etkilendiği şeklinde yorumlanabilir. Operatör ölçümlerinin Box-Plot grafikleri ise Şekil 8’de verilmiştir.

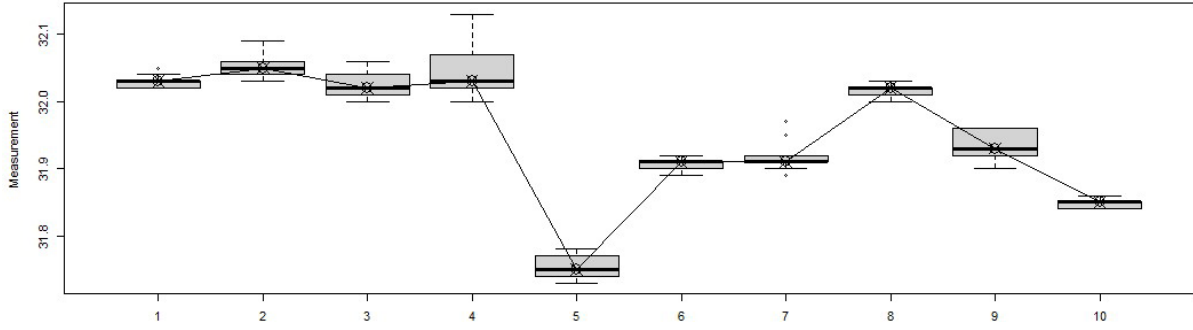
Şekil 8: Operatör Ölçümlerinin Box-Plot Grafiği



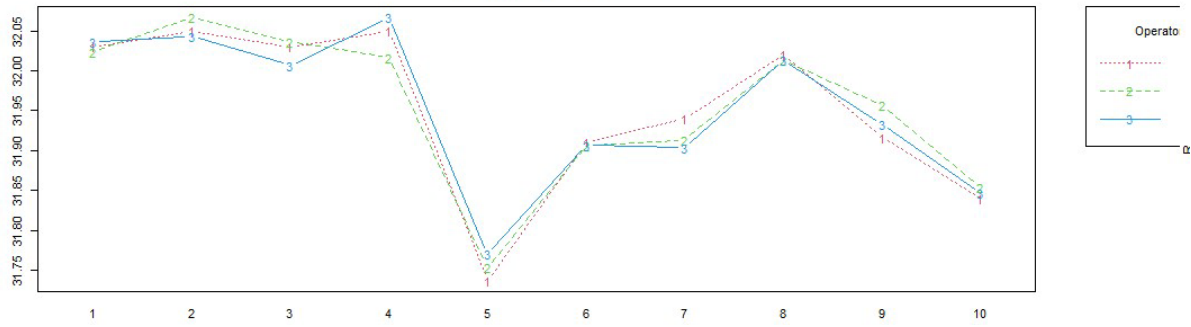
Şekil 8’de her operatörün tüm ölçümlerinin ortalaması ve ortalamalar arasında bir çizgi yer almaktadır. Bu çizginin kırık olmaması, operatörlerin ölçüm ortalamalarının benzer olduğunu göstermektedir. Şekil incelendiğinde, B operatörünün diğer operatörlere göre daha dar bir aralıkta ölçüm yaptığı ve operatör ortalamalarının benzer olduğu görülmektedir. Her bir parçaya ait ölçüm değerleri ise Şekil 9’da gösterilmiştir.

Parçalara göre ölçüm grafiği, her parça için yapılan tüm ölçümlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu göstermektedir. Özellikle 4. parçada olmak üzere, 5. ve 9. parçalarda kısmi olmak üzere söz konusu parçalarda operatörlerin farklı ölçüm yaptıkları, diğer parçalarda ise yapılan ölçümlerin birbirine oldukça yakın olduğu söylenilebilir. Bununla birlikte, her operatörün her parça için yaptığı ölçümleri gösteren grafik Şekil 10’da verilmiştir.

Şekil 9: Parçalara Göre Ölçüm Değerleri



Şekil 10: Parçalara Göre Ölçüm Değerleri



Operatör parça etkileşimi grafiği, her operatörün her parça için yaptığı ölçüm ortalamalarını birbirine bağlayan çizgilerden oluşmaktadır. Buradaki kritik kısım, çizgilerin paralel olup olmaması ve kesişip kesişmediğidir. Paralel çizgiler, operatörlerin parçadan etkilenmediğini göstermektedir. Kesişen çizgiler ise operatörlerin benzer ölçümler yaptığını göstermektedir. Paralel olmayan veya kesişen çizgiler, bir operatörün tutarlı bir şekilde bir parçayı ölçme yeteneğinin hangi parçanın ölçüldüğüne bağlı olduğunu gösterir. Sürekli olarak diğerlerinden daha yüksek veya daha alçak bir çizgi ise, bir operatörün sürekli olarak yüksek veya düşük ölçüm yaparak ölçüme sapma eklediği şeklinde yorumlanır. Şekil 10 incelendiğinde, operatörlerin genellikle parçadan etkilenmediği ve tutarlı ölçümler gerçekleştirdiklerini söylemek mümkündür.

4.3 ANOVA

ANOVA yöntemine geçmeden önce, mevcut örneklemin bu yöntem için yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Bu doğrultuda, yine R programlama dilinde bir fonksiyon tanımlanıp, verilen parametrelere göre en uygun parça sayısını hesaplayan bir R paketi oluşturulmuştur. Oluşturulan paketin, gerekli kontrollerden sonra, gitHub gibi açık kaynaklarda kullanıma açılması planlanmaktadır. Singh (1966) tarafından hazırlanan "Test ve Spesifikasyon Limitlerinin Çeşitli Değerleri için Üretici ve Tüketici Riskleri ve Ölçüm Hataları" isimli tablodan elde edilen üretici ve tüketici riskleri ile, firma tarafından kabul edilebilir ve kabul edilemez hata oranları kullanılarak, ANOVA için gerekli örneklem büyüklüğü 23 olarak elde edilmiştir. Mevcut verilere ilaveten 15 parça için ölçümler yapılarak toplam 25 parça için ANOVA sonuçları elde edilmiş ve Tablo 4 ve Tablo 5' de özetlenmiştir.

Tablo 4: ANOVA Tablosu

	df	Sum Sq	Mean Sq	F-value	Pr(>F)
Operatör	2	0.002	0.00084	2.559	0.0808
Parça	24	4.296	0.17898	544.936	<2e-16***
Operatör:Parça	48	0.029	0.00060	1.832	0.0031**
Tekrarlanabilirlik	150	0.049	0.00033		
Anlamlılık kodları: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1					

Tablo 5. Varyans ve Standart Sapmaya Bağlı Gage R&R Sonuçları

	Var	Katkı (%Var)	S.Sapma	5.15* S.Sapma	Katkı (% S.Sapma)
Toplam Gage R&R	4,23e-04	2,10	0,02056	0,10588	14,45
Tekrarlanabilirlik	3,28e-04	1,62	0,01812	0,09333	12,74
Tekrar Üretilirlik	9,42e-05	0,40	0,00971	0,04999	0,06
Operatör	3,19e-06	0,00	0,00178	0,00919	0,01
Operatör:Parça	9,10e-05	0,04	0,00954	0,04914	0,07
Parça-Parça	1,98e-02	97,9	0,14078	0,72503	98,9
Toplam Değişkenlik	2,02e-02	100	0,14228	0,73272	100,0

Tablo 5’de gösterilen varyans ve standart sapmaya bağlı elde edilen Gage R&R sonuçları incelendiğinde ise, toplam %R&R değerinin 14,45 olduğu görülmekte olup, bu değer toplam sistem değişkenliğinin %14,45’inin ölçüm sisteminden kaynaklandığı şeklinde yorumlanması gerekmektedir. Elde edilen bu değer, ortalama-aralık yöntemi ile paralel olup, ölçüm sisteminin kabul edilebilir seviyede ama iyileştirmeye de açık olduğunu göstermektedir (MSA, 2010, Ostle vd, 1996, Wheeler, 2006). Tablo 5’de gösterilen parça-parça katkısının toplam Gage R&R katkısından fazla olması, varyasyonun büyük kısmının parçalar arası farklılıktan kaynaklandığını göstermektedir. Bu durumun tersinde ise varyasyonun büyük kısmının ölçüm sisteminden kaynaklandığı söylenir (Minitab, 2000). ANOVA yönteminde, belirgin kategori sayısı (ndc) 9 olarak elde edilmiş olup, bu değer 5 veya daha fazla olması, ölçüm sisteminin parça değişkenliğini ölçebilecek yeterlilikte olduğunu göstermektedir.

ANOVA yönteminin Ortalama-Aralık yöntemine göre farkı operatör ve parça arasındaki etkileşiminin analize dahil edilmesidir (Wang, 2004). Tablo 4 incelendiğinde operatörlerin ölçüm sistemine istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağlamadıkları, operatörler arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı ($p=0.08$) fakat parçaların ve parça-operatör etkileşiminin ölçüm sistemine istatistiksel olarak anlamlı bir katkı sağladıkları görülmektedir. Bu durum, kullanılan parçaların aynı özelliğe sahip başka ölçüm cihazları ile tekrar ölçümlerinin ve bu parçaların ölçülmesi konusunda

operatörlere eğitim verilmesinin gerektiğini göstermektedir. ANOVA yönteminin kullanılmaması durumunda bu tür iyileştirme fırsatlarını tespit edebilmek Ortalama-Aralık yöntemi ile olası değildir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME

Gelişen teknolojik imkanlara paralel olarak günümüzde verinin önemi gittikçe artmakta ve veriye dayalı sistemler hızla çoğalmaktadır. Veriye dayalı karar alan, yönetilen işletmelerin daha başarılı olduğu günümüzde, Altı Sigma veri odaklı yaklaşıma sahip olması sebebiyle işletmeler tarafından sıklıkla kullanılan bir kalite iyileştirme metodolojisidir. Gerek Altı Sigma gerek ise daha geleneksel kalite iyileştirme tekniklerinde veri odaklı kararlar alınabilmesi için ilk şart kullanılan verilerin güvenilirliğinden, ölçüm yapılan sistemin yeterliliğinden emin olunmasıdır. Gage R&R, kalite iyileştirme çalışmalarında kullanılan verilerin elde edildiği ölçüm sisteminin analiz edilmesinde kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin temel mantığı, sürecin gerçek değişkenliğini ortaya çıkartabilmek için ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenliğin tanımlanması ve ayrıştırılmasıdır.

Bu çalışmada, otobüs yedek parça üretiminde kullanılan bir ölçüm cihazının yeterliliği Gage R&R ile analiz edilmiştir. Literatürdeki ilgili çalışmalar incelenmiş ve Gage R&R uygulamalarında kullanılan iki farklı yaklaşım ile analiz gerçekleştirilmiştir. Ortalama-Aralık yöntemine göre 3 operatör, 10 adet parça ve 3 kez ölçümden oluşan 90 veri kullanılmış ve toplam sistem değişkenliğinin %17,07'sinin ölçüm sisteminden kaynaklandığı görülmüştür. Bu değer, kullanılan ölçüm sisteminin mevcut şartlara göre kabul edilebilir ama iyileştirmeye açık olduğunu göstermektedir. ANOVA yönteminde ise gerekli örneklem genişliği 25 olarak bulunmuş ve 3 operatör, 25 adet parça ve 3 kez ölçümden oluşan 225 veri kullanılmış ve sonuç olarak sistemdeki toplam değişkenliğinin %14,45'inin ölçüm sisteminden kaynaklandığı belirlenmiştir. ANOVA yöntemi ayrıca, Ortalama-Aralık yönteminden farklı olarak, sistemdeki varyasyonun büyük kısmının parçalar arası farklılıktan kaynaklandığını göstermiştir. Her iki yöntemde de kullanılan ölçüm sisteminin mevcut şartlar altında yeterli olduğu fakat iyileştirmeye de açık olduğu söylenilebilir.

Ölçüm sisteminin güvenilirliği için her iki yöntem de kullanılabilir olmasına karşın, operatör-parça etkileşiminin de analize dahil edilmesi sebebiyle ANOVA yönteminin Ortalama-Aralık yöntemine göre daha güçlü olduğunu söylemek mümkündür. Buna karşın, ANOVA yöntemi için daha fazla sayıda gözleme ihtiyaç duyulması bu yöntem için uygulamada handikap olarak görülebilir.

İstatistiksel analizlerde daha çok bilgi içermesi sebebiyle her ne kadar sayısal veriler ile çalışılmak istense de uygulamada bu durum her zaman mümkün olmamaktadır. Herhangi bir kalite sürecinde üretilen parçaların ölçülemediği dolayısıyla sayısal verilerin elde edilemediği durumlarda, sadece üretilen parçanın uygun olup olmadığına bakılarak, ölçüm sisteminin uygunluğunu ölçmek için kullanılan teknik niteliksel ölçüm sistemleri analizi olarak adlandırılır. İki gözlemci arasındaki karşılaştırmalı uyumun güvenilirliğini ölçen Cohen Kappa istatistiğine (Cohen, 1963) dayanan ve iki veya daha fazla gözlemci arasındaki uyum oranını ölçmek amacıyla geliştirilen Cohen Kappa Uyum Testi (Baker, 1996) nitel verilerin bulunduğu sistemlerde ölçüm sisteminin güvenilirliğini analiz etmek amacıyla en sık kullanılan yöntemdir.

Tüm kalite iyileştirme çalışmalarında olduğu gibi, yapılan iyileştirmelerin standardize edilmesi ve daha sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere dokümanite edilmesi, uygulamanın sürekliliği açısından kritiktir. Gage R&R çalışmalarında da ölçüm sistemlerinin analizinin, hangi sıklıkla nasıl yapılacağına belirlenmesi ve sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında veri desteği sağlayan İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü Kalite ve Kurumsal Gelişim Dairesi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Aquila, G., Peruchi, R. S., Junior, P. R., Rocha, L. S., Rodrigo de Queiroz, A., Pamplona, E., & Balestrassi, P. P. (2018). Analysis of the wind average speed in different Brazilian states using the nested GR&R measurement system. *Measurement*, 115,217-222.
- Amar, S., (2010). *Six Sigma Qaulity: Concepts & Cases – Volume I Statistical Tools in Six Sigma DMAIC Process With Minitab Applications*.
- Baker J.A., Kornguth P.J, vd. (1996), Breast imaging reporting and data system standardized mammography lexicon: observer variability in lesion description, *AJR*; 166:773-778.
- Barrentine, L. B., (2002). *Concepts for R&R Studies*, ASQ Quality Press, Wisconsin, USA.
- Bartan, M.B. (2019) Üretici ve Tüketici Risklerini Dikkate Alarak Oluşturulan Ölçüm Sistemleri Analizinin Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2019.
- Beckert S.F. ve Paim W.S. (2017) Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement systems evaluation, *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 8, 23 (2017)
- Breyfogle F.W. III, *Implementing Six Sigma: smarter solutions using statistical methods*, 2nd ed., New Jersey, 2003, pp. 857-885.
- Burdick R.K, Borrer C.M, Montgomery DC. A review of methods for measurement systems capability analysis, *J. Qual. Technol.* 35 (2003) 342–354.
- Cebenoyan B. (2018) Süreç Yetenekleri ve Ölçüm Sistemleri Analizi Üzerine Bir Çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2018.
- Cohen J. (1960), A coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement* Vol.20, No.1, s.37-46.
- DeCarlo, N., Gygi, C., & Williams, B. (2005). *Six sigma for dummies*. New York, NY: John Wiley
- Erdmann, T. P., Does, R., & Bisgaard, S. (2009). Quality Quandaries*: A Gage R&R Study in a Hospital. *Quality Engineering*, 22(1), 46-53. doi:10.1080/08982110903412924.
- Firuzan A.R., Kuvvetli Ü., Gerger A. (2012) “Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama” *Journal of Yasar University*, 25(7), 4176-4188
- Gao, Z., Moore, T., Smith, A., Doub, W., Westenberger, B., & Buhse, L. (2007). Gauge Repeatability and Reproducibility for Accessing Variability During Dissolution Testing: A Technical Note. *AAPS PharmSciTech*, 8(4),11-15.
- Gelippiden B., 2001, QS-9000 Kalite Güvence Sisteminin Referans Konularından Ölçüm Sistemleri Analizinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi ve Bir İşletmede Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Ana Bilim Dalı, 262 s.
- George, M. L., Maxey, J., Price, M., & Rowlands, D. (2005). *The lean six sigma pocket toolbox*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Graham R. M., 2006(a), Four Steps to Ensure Measurement Data Quality Part 1 *Quality Progress*, 80–82.
- Graham R. M., 2006(b), Four Steps to Ensure Measurement Data Quality Part 2 *Quality Progress*, 82–85.
- İlerler A. (2015) *Dijital Radyografide Ölçüm Sistemleri Analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- Kavi U, Eleveli S. (2008) Art-Craft Sofra Camı Üretim İşletmesinde Ölçüm Sistem Analizi Uygulaması, VII. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 30 Ekim-1 Kasım, İzmir, 2008
- Mast J. and Wieringen W. N., 2007, Measurement System Analysis for Categorical Measurements: Agreement and Kappa Type Indices, Journal of Quality Technology, Vol. 39 No. 3, 191–202.
- Measurement Systems Analysis (MSA) Work Group. (2010). Measurement systems analysis reference manual (4th ed.). Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, and General Motors Corporation.
- Minitab (2000) MINITAB user's guide 2: Data analysis and quality tools (2000). Minitab Inc.
- Montgomery, D. C. (2005). Introduction to statistical quality control. Hoboken, NJ: John Wiley.
- Morin S., Bourdeau LM, Robert JM (2017) "Using the Gage R&R Method to Evaluate The Reliability and Assessment Process of the Creative Engineering Design Assessment", TPM Vol. 24, No. 4, December 2017.
- Ostle, B., Turner, K. V., Hicks, C. R., & McElrath, G. W. (1996). Engineering statistics, the industrial experience. Belmont, CA: Duxbury Presspages
- Özcan, A.M. (2020) Uluslararası Otomotiv İş Gücü 16949 Kalite Yönetim Sistem Standardı Temelinde Kalite İyileştirme Teknikleri ve Ölçüm Sistemleri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Temmuz, 2020
- Pan Jeh-Nan (2006) "Evaluating the Gauge Repeatability and Reproducibility for Different Industries", Quality & Quantity (2006) 40:499–518.
- Pandiripalli, B., (2010). Repeatability and Reproducibility studies: A comparison of techniques, Chaitanya Bharathi Institute of Technology.
- Pereira R.B.D., Peruchi R.S., Paiva A.P., Costa S.C., Ferreira J.R., Combining Scott- Knott and GR & R methods to identify special causes of variation, Measurement 82 (2016) 135–144.
- Pyzdek, T., & Keller, A. P. (2009). The six sigma handbook, a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels (3rd ed.). The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ren Q. (2015) The Application of Gage R&R Analysis in s Six Sigma Case of Improving and Optimizing an Automotive Die Casting Product's Measurement System, Western Kentucky University, Fall 2015
- Roth T. (2017). Working with the qualityTools package, <http://www.r-qualitytools.org/MEASURE.html>, 2017, Alıntı Tarihi: Haziran-2021
- Satıcı S., Satıcı R., Özcan B. (2020) Programlanabilir Güç Cihazının Ölçüm Yeterliliğinin Gage R&R ile Analiz Edilmesi, İşletme Bilimi Dergisi (JOBS), 2020; 8(3):427-449
- Singh H.R. (1966) "Producer and Consumer Risks for Asymmetrical Test and Specification Limits" Journal of the American Statistical Association, Vol. 61, No. 314, Part 1 (Jun.,1966), pp. 505-513
- Singpai B. (2009) "Measurement System Analysis for Quality Improvement Using Gage R&R Study at Company XYZ" The Graduate School, University of Wisconsin-Stout, Menomonie, Wisconsin/ABD.
- Spitzer, D. R (2007). Transforming performance measurement: Rethinking the way we measure and drive organizational success. New York, NY: American Management Association.
- Wang, J., (2004). Assessing Measurement System Acceptability For Process Control And Analysis Using Gage R&R Study.

Wang F.K, Chien T.W., “Process-oriented basis representation for a multivariate gauge study”,
Comput. Ind. Eng. 58 (2010) 143–150.

Wheeler, D. J. (2006). EMP III (Evaluating the measurement process III): Using imperfect data.
Knoxville, TN: SPC Press

Wrzochal, M., & Adamczak, S. (2019). Application of a Gage R&R study in evaluation of rolling bearing
measurement system accuracy. Transportation Research Procedia, 934-939.
doi:10.1016/j.trpro.2019.07.131.



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative
Commons Attribution (CC BY NC) license.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

EXTENDED ABSTRACT

Application of Measurement System Analysis in Bus Spare Parts Production

1. Introduction

As a result of the increasing competitive environment, companies must reduce their costs but at the same time they must increase their quality level. This situation has canalized companies to benefit from various quality improvement methods. Most quality improvement methods, especially Six Sigma, are data-oriented approaches, and the first condition for the success of these methods is that the data used is reliable. Therefore, it is necessary to ensure the reliability of the measurement systems from the data are obtained as a first step in quality improvement studies. In this context, there are studies carried out in many different sectors regarding the reliability of the measurement system in the literature (Aquila et al, 2018; Wizochal and Adamczak, 2019; Seller, 2020). In this study, the reliability of the system used in the measurement of a bus spare part production sector which has no application in the literature, has been analyzed using two different methods before a quality improvement project.

2. Data Set and Method

The aim of this study is to determine the adequacy of measurement systems used in bus spare parts production. For this purpose, a piece used as the engine sump plug of TEMSA AVENUE buses was determined as an example and the study was carried out. The parts used in the measurement were manufactured with a universal lathe. All samples were manufactured by a single operator with the same machine and from the same material. Before the measurement process, the samples were kept at 20⁰C for 4 hours and the samples were allowed to reach this temperature. Likewise, the digital caliper used for measurement was kept in the laboratory for the same time. Thus, the measurement result differences that may arise due to temperature changes are minimized. The digital calliper is capable of measuring up to 150 mm and has a resolution of 0.01 mm. Measurements were made for the 32 mm diameter part of the calliper. The tolerance of the measurement is ± 0.3 mm.

According to Automotive Industry Action Group standards, Gage R&R studies should be designed as that three operators measure 10 parts in triplicate. All measurements must be performed with the same equipment, under the same installation, under the same environmental conditions, and the measured parts must have the same characteristics. Each operator is required to measure each part three times in random order (George et al, 2005, Singpai, 2009). However, the adequacy of the current sample size for the ANOVA method should be calculated separately based on producer risk, consumer risk, acceptable and unacceptable error rates (Singh, 1966, Kavi & Elevli, 2008). In the study, three operators were provided to measure ten pieces three times in accordance with the desired standards.

In the analysis part of the study, the calculations were made in the RStudio environment using the R programming language. For Gage R&R calculations and graphics, the “qualityTools” package from R packages (Roth, 2017) was used. Before moving on to the ANOVA method, it was investigated whether the existing sample was sufficient for this method. In this direction, a function has been defined in the R programming language and an R package has been created that calculates the most appropriate number of parts according to the given parameters. The sample size required for ANOVA was determined as 23, using the producer and consumer risks obtained from the table named “Producer and Consumer Risks For Different Values of Test and Specification Limits and Measurement Error” prepared by Singh (1966) and using acceptable and unacceptable error rates by the firm has been obtained. In addition to the existing data, measurements were made for 15 pieces, and ANOVA results were obtained and analyzed for a total of 25 pieces.

3. Empirical Findings

When the analysis results are examined, it is seen that 97.06% of the total variability is caused by the part variability and 2.84% is due to the measurement system. The high variability from part to part indicates that the measuring system reliably distinguishes parts. When the Gage R&R results obtained depending on the standard deviation are examined, it is seen that the total %R&R value is 17.07, and this value should be interpreted as 17.07% of the total system variability originates from the measurement system. The %R&R value obtained is the measurement system shows that the measured part is at an acceptable level according to criteria such as the importance, cost, and criticality of the measurement system (MSA, 2010, Ostle et al, 1996, Wheeler, 2006). However, it is possible to say that the measurement system is open to improvement. The number of distinct categories (ndc) obtained as a result of the analysis was 8, and a value of 5 or more indicates that the measurement system is capable of measuring part variability.

When the Gage R&R results obtained according to the ANOVA method are examined, it is seen that the total %R&R value is 14.45%, and this value should be interpreted as 14.45% of the total system variability originates from the measurement system. This value obtained is in parallel with the mean-range method and shows that the measurement system is at an acceptable level but open to improvement (MSA, 2010, Wheeler, 2006). The fact that the piece-piece contribution shown in this method is higher than the total Gage R&R contribution indicates that most of the variation is due to the difference between the pieces.

4. Discussion and Conclusion

Parallel to the developing technological possibilities, the importance of data is increasing day by day and data-based systems are increasing rapidly. In both Six Sigma and more traditional quality improvement techniques, the first condition for making data-oriented decisions is to be sure of the reliability of the data and the adequacy of the measurement system. Gage R&R is a statistical method used to analyze the measurement system from which data used in quality improvement studies are obtained. The basic logic of this method is to identify and decompose the variability originating from the measurement system in order to reveal the true variability of the process.

In this study, the adequacy of a measuring device used in the production of bus spare parts was analyzed by Gage R&R. Related studies in the literature were examined and two different approaches used in Gage R&R studies were studied. According to both methods, it can be said the measurement system is acceptable under current conditions but there is an opportunity to improve. The ANOVA method also showed that, unlike the Mean-Range method, most of the variation in the system was due to the difference between parts.