

## Varyans Analizi ve Tekrarlanan Ölçümlü Analiz Tekniklerinin I. Tip Hata Bakımından Karşılaştırılması

Ensar BAŞPINAR<sup>1</sup>

Fikret GÜRBÜZ<sup>1</sup>

Handan ÇAMDEVİREN<sup>2</sup>

Geliş Tarihi : 02.01.2001

**Özet :** Bu çalışmada, çeşitli grup sayısı-korelasyon katsayısı-örnek genişliği kombinasyonlarında yer alan ölçüm ortalamalarının karşılaştırılmasında, basit varyans analizi tekniği ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği kullanılmıştır. Her bir kombinasyonda ampirik olarak gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıkları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Simülasyon çalışmasında, her grup sayısı-korelasyon katsayısı- örnek genişliği kombinasyonu için üretilen gözlem değerleri kullanılarak oluşturulan 100 000 deneme ANOVA ve TÖVA teknikleri ile analiz edilmiş ve gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları hesaplanmıştır. Gruplardaki gözlem değerleri arasında sıfırdan farklı her korelasyon katsayısı için, ANOVA tekniği ile analiz etmenin başlangıçta belirlenen I. Tip hata olasılığında ( $\alpha=0.05$ ) önemli sapmalara sebep olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Tekrarlanan ölçüm, varyans analizi, bağımlı gözlemler, simülasyon, I. Tip hata

### The Comparison of Analysis of Variance and Repeated Measurement Analysis Techniques for the Type I Error Rates

**Abstract:** In this study, simple analysis of variance and repeated measurement analysis techniques were used for comparison of means in different group number-correlation coefficient-sample size combinations. Probabilities of Type I error which were observed empirically, were investigated comparatively. In each group number- correlation coefficient-sample size combinations were analyzed with the techniques of ANOVA and repeated measurement analysis and each simulation was repeated 100 000 times. The probabilities of Type I error were calculated at the end of these analysis. As a result, ANOVA technique was used when the correlation coefficient among the observations in-groups was different from zero, nominal Type I error probability deviated significantly.

**Key Words:** Repeated measurements, analysis of variance, dependent observations, simulation, Type I error

#### Giriş

Fisher tarafından geliştirilen varyans analizi tekniği günümüzde yapılan bir çok araştırmanın istatistik olarak değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tekniğin uygulanabilmesi için bir takım ön şartların yerine getirilmesi gerekir (Düğüneş ve ark 1985, Sokal ve Rohlf 1995). Bunlarda birisi de, gözlemlerin bağımsızlığı ön şartıdır. Gözlemlerin bağımsızlığı "farklı koşullarda elde edilen ölçüm değerlerinin farklı bireylere ait olması" şeklinde tanımlanabilir. Yani, ortalamaları karşılaştırılacak gruplardan elde edilen ölçümlerin, popülasyondan tesadüfen seçilen bireylere ait olmasıdır. Ancak, bazı araştırmalarda denemede kullanılacak birimlerin veya deney ünitelerinin yetersiz sayıda olması, denemenin daha hassas yapılmaya zorunluluğundan dolayı farklı koşullarda aynı bireylerin kullanılması veya deneme maliyetinin en aza indirilmesi gerekebilmektedir. Bunun yanı sıra, bazen de araştırmalarda deney ünitelerinin uygulama öncesi ölçümleri kontrol grubu gibi düşünülmektedir (*kendi kontrollü denemeler*). Bu gibi durumlarda karşılaşıldığında, aynı deney ünitelerinden birden fazla ölçüm değerlerinin alınması gerekir. Böylece karşılaştırılacak koşullardaki ölçümler, aynı bireylere ait olduğu için gözlemler bağımlı hale gelir. Bir başka deyişle aralarında bir korelasyon oluşur (Winer 1971). Bunun

sonucu olarak da, gözlemlerin bağımsızlığı ön şartı sağlanamamış olur. Bu ön şartın yerine gelmediği durumlarda, basit varyans analizi tekniği kullanıldığı zaman elde edilecek sonuçlarda gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıklarının beklenenden az olacağı (Çamdeviren 1995, Kurita 1996) tarafından yapılan simülasyon çalışmasında bildirilmektedir. Ancak, gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıklarının farklı korelasyon düzeylerinden ne derece etkileneceğini önceden bilmek mümkün değildir. Bu çalışmada, bu koşullarda gerçekleşen I. Tip hatanın iyi bir tahmininin yapılması düşünülmüştür.

Bağımlı gözlemleri içeren en basit deneme düzenlerinin analizinde eş yapma t-testi (paired comparison t-test) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu Tip deneme düzenlerinde, aynı deney ünitelerinden aynı özelliğe ilişkin iki farklı periyotta ölçüm alınmakta ve bu periyotların ortalamaları arasındaki fark değerlendirilmektedir. Aynı deney ünitelerinden ikiden çok ölçümün elde edildiği deneme düzenlerinde ise, araştırmacılar genellikle ikili eşler oluşturarak bu eşlerin ortalamalarını eş yapma t-testi ile karşılaştırmaktadırlar. Bu durumun I. Tip hatayı artırdığı bilinmektedir.

<sup>1</sup> Ankara Üniv. Ziraat Fak. Biyometri ve Genetik Anabilim Dalı-Ankara

<sup>2</sup> Mersin Üniv. Tıp Fak. Temel Tıp Bilimleri Anabilim Dalı, Biyoistatistik Bilim Dalı-Mersin

(Gürbüz ve ark 1999). Bu deneme düzeninde verilerin analizinde yaygın olarak karşılaşılan en önemli problem, gözlemlerin bağımsızlığı ön şartının ihmal edilerek basit varyans analizi tekniği ile değerlendirilmesidir. Tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğini uygulamalı bir şekilde tanıtan Türkçe kaynak sayısının yetersizliği ve buna bağlı olarak araştırmacıların konu hakkındaki bilgilerinin sınırlı kalması, bu problemin başlıca sebebidir.

Bu çalışmada, çeşitli korelasyon-grup sayısı-örnek genişliği kombinasyonlarında elde edilen ölçüm ortalamalarının karşılaştırılmasında, basit varyans analizi tekniği (ANOVA) ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği (TÖVA) kullanılarak, her bir kombinasyonda ampirik olarak gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıkları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

### Materyal ve Yöntem

Yapılan hipotez testlerinde, gerçekleşen I. Tip hatalar, başlangıçta kararlaştırılan değerinden az veya fazla olabilmektedir.  $H_0$  hipotezinin geçerli olduğu durumlarda I. Tip hatanın artması doğru karar vermiş olma olasılığını azaltmaktadır. I. Tip hatanın azalması ise II. Tip hatanın artmasına ve dolaylı olarak testin gücünün düşmesine sebep olmaktadır. Hipotez testleri sonucunda verilen kararların güvenilirliği için gerçekleşen I. ve II. Tip hataların dengeli olması istenmektedir. (Wang 1971).

Bu çalışmada, çok değişkenli standart normal dağılımdan  $N(0,1)$  simülasyonla çekilen gözlemler kullanılmıştır. Örneklerin alındığı popülasyonlarda grup ortalamaları birbirine eşit olarak kabul edilmiştir ( $\mu_1 = \dots = \mu_j = 0$ ). Ayrıca gruplarda yer alan gözlemler arasındaki ilişki yapısını gösteren korelasyon matrisleri ise grup sayısı-örnek genişliği kombinasyonlarına göre aşağıdaki gibi iki farklı şekilde belirlenmiştir.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad R = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \dots & \rho \\ \rho & 1 & \dots & \rho \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Bu matrisler incelendiğinde genel olarak iki farklı yapıda korelasyon matrisi düşünüldüğü görülür. Bu yapıardan birincisinde gruplardaki gözlemlerin bağımsız ( $\rho_{ij}=0$ ) olduğu durum, ikincisinde ise gruplardaki gözlemlerin bağımlı olduğu durum ele alınmıştır. Simülasyon çalışmasında, grup sayısı, gruplardaki gözlem sayısı ve gruplardaki gözlemler arasındaki bağımlılık derecesi dikkate alınarak düşünülen kombinasyonlar sırasıyla şöyledir. Grup sayıları;  $k=2, 3, 4, 5$  ve  $10$ ; gruplardaki gözlem sayıları;  $n_1=5, 10, \dots, 30$ ; gruplardaki gözlemler arasındaki korelasyon katsayıları ise;  $\rho_{ij}=0,0, 0,10, \dots, 0,90$ . Denenen kombinasyonlarda bütün gruplardaki gözlemler arasındaki korelasyon katsayıları birbirine eşit alınmıştır. Çalışmada sadece gruplardaki gözlem sayılarının eşit olduğu durumlar incelenmiştir. Bu durumda düşünülen toplam kombinasyon sayısı, 5 grup,

6 örnek genişliği ve 10 korelasyon katsayısı olmak üzere  $5 \times 6 \times 10=300$  dür.

Örneklerin, bilgisayar ortamında üretilmesinde ve simülasyon denemelerinin yürütülmesinde Microsoft Fortran Power Station 4.0 programlama dilinde yazılan programlar ve IMSL kütüphanesindeki alt-programlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan her bir kombinasyon için 100 000 simülasyon denemesi yapılmıştır. Bu 100 000 simülasyon denemesinin her birinde yapılan hipotez testlerinde, başlangıçta belirlenen I. Tip hata (yanılma) olasılığı ( $\alpha$ ) 0.05 olarak kararlaştırıldığında, her bir analiz tekniğine göre hesaplanan F değeri ile F tablo değeri karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma sonucu ret edilen hipotezler saydıkları olarak gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları ampirik olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, bir çok araştırmada kullanılabileceği düşünülerek grup sayıları, korelasyon katsayıları ve örnek genişlikleri uygulamada sıklıkla karşılaşılabilecek seviyelerde ele alınarak grup sayısı-korelasyon katsayısı-örnek genişliği kombinasyonları oluşturulmuştur.

Simülasyonla üretilen her bir deneme kombinasyonuna sırasıyla basit varyans analizi ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği uygulanmış, analiz sonucunda gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıkları tablo haline getirilmiştir.

Varyans analizi tekniğinin uygulanması ile oluşturulan Varyans Analizi Tablosu ile tekrarlanan ölçümlü analiz tekniğinin uygulanması ile oluşturulan Varyans Analizi Tablosu, her analiz tekniğinin istatistik modeli gereği farklı olup genellikle aşağıdaki gibi düzenlenebilmektedirler (Çizelge 1.a ve b). Ancak, tekrarlanan ölçümlü analiz tekniğinde düzenlenen analiz tablosu, ele alınan faktör ve tekrarlanan ölçüm sayılarına göre çok çeşitli olabilmektedir. Bu çalışmada tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü deneme düzeni ele alınmıştır. Çünkü ancak bu düzen basit varyans analizi ile karşılaştırılabilmektedir.

Çizelge 1. a. Varyans analizi tablosu

| Varyasyon kaynağı | Serbestlik derecesi | E(K:O)                 |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| Genel             | $kn-1$              |                        |
| Gruplar arası     | $k-1$               | $\sigma_e^2 + n\sigma$ |
| Hata              | $k(n-1)$            | $\sigma_e^2$           |

Çizelge 1.b. Tek faktörlü tekrarlanan ölçümlü deneme düzenine ilişkin varyans analizi tablosu

| Varyasyon kaynağı | Serbestlik derecesi | E(K:O)                 |
|-------------------|---------------------|------------------------|
| Genel             | $np-1$              |                        |
| Denekler arası    | $n-1$               | $\sigma_e^2 + p\sigma$ |
| Denekler içi      | $n(p-1)$            |                        |
| Periyotlar arası  | $p-1$               | $\sigma_e^2 + n\sigma$ |
| Hata              | $(n-1)(p-1)$        | $\sigma_e^2$           |

## Bulgular ve Tartışma

Yapılan simülasyon çalışması sonucunda gerçekleşen I. Tip hatalara ilişkin sonuçlar Çizelge 2'de topluca verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde grup sayıları 2,3,4,5 ve 10, her bir gruptaki gözlem sayıları 5,110,15,20,25,30 ve gözlemler arasındaki korelasyonlar ise 0.0 ile 0.9 arasında seçilmiştir. Seçilen kombinasyonlarda pratikte yaygın bir şekilde kullanılan grup sayıları dikkate alınmıştır. Bunlara ilaveten, mevcut olabilecek korelasyon katsayıları için geniş bir aralık düşünülmüştür.

Bu koşullarda basit varyans analizi tekniği ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği uygulanarak gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları hesaplanmış ve örneklerin alınmış oldukları popülasyonların korelasyon katsayılarına göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Gözlemler birbirinden bağımsız, yani korelasyon katsayısı sıfır olduğunda, grup sayısı 2, 3, 4, 5 ve 10 ve gruplardaki gözlem sayıları da birbirine eşit ve 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 olarak düşünüldüğünde, basit varyans analizi ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniklerinde gerçekleşen I. Tip hataların % 5 civarında kaldığı belirlenmiştir (en düşük 0.04944, en büyük 0.05158).

2. Gözlemler arasındaki korelasyonun artması sonucunda basit varyans analizi tekniği uygulandığı zaman gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıklarında belirgin bir düşmenin olduğu görülmektedir. Bu düşme grup sayısı ve gruplardaki gözlem sayısı arttıkça artmaktadır. Mesela, 2 grupta gözlemler arasındaki korelasyon katsayısı 0.9 ve gruplarda 5' er gözlem mevcut olduğu zaman gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılığı 0.00060, 15' er gözlem olduğu zaman gerçekleşen hata 0.00001 ve 30' er gözlem olduğu zaman gerçekleşen I. Tip hata 0.00000 (yani, 100000 denemede  $H_0$  hipotezi bir defa bile ret edilmemiştir. Olasılıkların 5 basamaklı verilmesinin sebebi de böyle durumlarda  $H_0$  hipotezinin kaç defa ret edildiğini görebilmek içindir.) olarak bulunmuştur. Ayrıca aynı koşullarda grup sayısı 10 olduğu zaman gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları sırasıyla 0.00007, 0.00000 ve 0.00000 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre farklı gruplarda yer alan gözlemler arasında bağımlılığın yani korelasyonun mevcut olmasının gerçekleşen I. Tip hata olasılıklarında önemli düzeyde düşmeye sebep olduğu söylenebilir.

Bu düşmeye grup sayısı ve gruplardaki gözlem sayılarının da etkisi vardır. Ancak gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıklarındaki değişmeye en etkili unsur gözlemler arasındaki korelasyon katsayısıdır. Tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinde ise, grup sayısı-popülasyondaki korelasyon katsayısı-örnek genişliği kombinasyonlarının hemen tamamında gerçekleşen I. Tip hata olasılığı, pratik olarak başlangıçta kararlaştırılan %5 kadardır. Simülasyon çalışmalarında gerçekleşen I. Tip hata olasılıklarının %4.0 ile %6.5 arasında olması halinde bile bunların %5 olarak kabul edilebileceği literatürde bildirilmektedir (Wang 1971, Subrahmaniam and Subrahmaniam 1973; Tiku and Singh 1981, Hsiung and Olejnik 1996, Ware 1997, Cliff 1997, Gorham 1998,

Zar 1999). Bu durumda, tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinde bütün grup sayısı-korelasyon katsayısı-örnek genişliği kombinasyonlarında I. Tip hata olasılıklarının %5 olarak gerçekleştiği Çizelge 2'de görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, yapılan simülasyon çalışmasında ele alınan örnek genişlikleri-grup sayısı-korelasyon katsayısı kombinasyonlarına, basit varyans analizi tekniği uygulandığı zaman gerçekleşen en küçük I. Tip hata yapma olasılığının değeri 0.00000 (0.00), en büyüğünün ise 0.05158 (0.05), tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinde ise en küçük I. Tip hata yapma olasılığı 0.04774 (0.05), en büyük I. Tip hata yapma olasılığı ise 0.05229 (0.05) olarak gerçekleşmiştir. Bu olasılıkların genel ortalama ve standart sapması ise, basit varyans analizinde 0.01394 ve 0.01663, tekrarlanan ölçümlü varyans analizinde 0.04999 (0.05) ve 0.00071 (0.00) olarak bulunmuştur. Bu değerler incelendiğinde ortalama I. Tip hata yapma olasılıklarının, başlangıçta belirlenen %5 seviyesine istatistik olarak tekrarlanan ölçümlü varyans analizinde eşit olduğu görülür. Ayrıca standart sapmanın da çok küçük olması gerçekleşen hataların birbirine yakın olduğunun bir göstergesidir. Ancak basit varyans analizi tekniğinde I. Tip hata yapma olasılığının başlangıçta belirlenen değerinden oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda korelasyon yapısındaki değişmelerden tekrarlanan ölçümlü varyans analizinin etkilenmediği söylenebilir.

## Sonuç ve Öneriler

Yapılan bu çalışma sonucunda, gruplardaki gözlem değerleri arasında korelasyon olduğu durumlarda (gözlemlerin bağımlı olması halinde) tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinin kullanılması gerektiği görülmektedir. Aksi takdirde başlangıçta belirlenen I. Tip hata yapma olasılığı ( $\alpha$ ), gözlemler arasındaki korelasyonun artmasına bağlı olarak azalacaktır. Bu sonuç ise test hipotezinin gereğinden fazla kabul edilmesine yol açacaktır. Ayrıca, gözlemler arasındaki korelasyon katsayısının sıfır olması halinde de (gözlemlerin bağımsız olması) tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile basit varyans analizi tekniğinin I. Tip hatayı başlangıçta belirlenen %5'lik seviyede tutma bakımından aynı etkinliğe sahip oldukları da görülmüştür. Tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinin bir sonucu olarak hesaplanacak hata kareler ortalaması (deneme hatası), her zaman basit varyans analizi tekniği ile hesaplanan hata kareler ortalamasından küçük olmaktadır. Deneme hatasının küçük olması araştırmalarda oldukça önemli bir husustur.

Bu bakımdan, bağımlı ve bağımsız gözlemlerden oluşturulan gruplarda, basit varyans analizi ve tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniklerine göre grup içi varyansların seyrinin nasıl olduğu yanında uygulanan testlerin güç değerlerinin de ele alındığı simülasyon çalışmasına gerek vardır. Böyle bir çalışma planlanmış ve yürütülmeye aşamasındadır.



Çizelge 2. Simülasyon çalışmasında Grup sayısı-Korelasyon katsayısı-Örnek genişliği kombinasyonlarında ANOVA ve TÖVA sonuçlarına göre gerçekleşen I. Tip hata yapma olasılıkları

| Grup | $\rho$ | Basit varyans analizinde örnek genişliklerine göre gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları |         |         |         |         |         | Tekrarlanan ölçümlü varyans analizinde örnek genişliklerine göre gerçekleşen I. Tip hata olasılıkları |         |         |         |         |         |
|------|--------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
|      |        | n   |         |         |         |         |         | n   |         |         |         |         |         |
|      |        | 5   | 10      | 15      | 20      | 25      | 30      | 5   | 10      | 15      | 20      | 25      | 30      |
| 2    | 0.0    | 0.05158   | 0.04982 | 0.04998 | 0.04985 | 0.05061 | 0.05023 | 0.05036   | 0.04948 | 0.04944 | 0.04937 | 0.05029 | 0.05014 |
|      | 0.1    | 0.04079   | 0.04097 | 0.03955 | 0.03994 | 0.03957 | 0.03834 | 0.05079   | 0.05000 | 0.05014 | 0.04968 | 0.05024 | 0.04883 |
|      | 0.2    | 0.03371   | 0.03110 | 0.03029 | 0.02969 | 0.02984 | 0.02935 | 0.04962   | 0.04917 | 0.05075 | 0.04922 | 0.05041 | 0.04969 |
|      | 0.3    | 0.02641   | 0.02305 | 0.02149 | 0.01999 | 0.02030 | 0.02014 | 0.04978   | 0.05010 | 0.05039 | 0.05043 | 0.04978 | 0.04997 |
|      | 0.4    | 0.02005   | 0.01521 | 0.01413 | 0.01336 | 0.01304 | 0.01236 | 0.05010   | 0.04889 | 0.04858 | 0.05013 | 0.05087 | 0.04818 |
|      | 0.5    | 0.01416   | 0.00969 | 0.00771 | 0.00709 | 0.00675 | 0.00708 | 0.05087   | 0.05001 | 0.04997 | 0.05060 | 0.04924 | 0.05051 |
|      | 0.6    | 0.00950   | 0.00525 | 0.00369 | 0.00357 | 0.00339 | 0.00290 | 0.05119   | 0.05017 | 0.05084 | 0.05035 | 0.05050 | 0.04997 |
|      | 0.7    | 0.00531   | 0.00197 | 0.00144 | 0.00106 | 0.00085 | 0.00075 | 0.04946   | 0.05006 | 0.04961 | 0.04958 | 0.05029 | 0.05073 |
|      | 0.8    | 0.00234   | 0.00050 | 0.00015 | 0.00020 | 0.00011 | 0.00008 | 0.04958   | 0.04961 | 0.05102 | 0.04993 | 0.04955 | 0.04974 |
|      | 0.9    | 0.00060   | 0.00004 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.05101   | 0.04963 | 0.04978 | 0.05034 | 0.05022 | 0.05200 |
| 3    | 0.0    | 0.05093   | 0.04973 | 0.05068 | 0.05105 | 0.05024 | 0.05007 | 0.05115   | 0.05001 | 0.04970 | 0.05054 | 0.05040 | 0.05068 |
|      | 0.1    | 0.03933   | 0.03829 | 0.03658 | 0.03541 | 0.03620 | 0.03623 | 0.05030   | 0.05096 | 0.04962 | 0.04936 | 0.04973 | 0.04989 |
|      | 0.2    | 0.03034   | 0.02662 | 0.02559 | 0.02467 | 0.02480 | 0.02573 | 0.05054   | 0.04950 | 0.04982 | 0.04914 | 0.04927 | 0.05041 |
|      | 0.3    | 0.02291   | 0.01730 | 0.01702 | 0.01556 | 0.01642 | 0.01497 | 0.04961   | 0.04945 | 0.05074 | 0.04948 | 0.05229 | 0.05059 |
|      | 0.4    | 0.01540   | 0.01125 | 0.00922 | 0.00909 | 0.00867 | 0.00774 | 0.04972   | 0.05127 | 0.04970 | 0.05030 | 0.04935 | 0.04992 |
|      | 0.5    | 0.01077   | 0.00569 | 0.00526 | 0.00416 | 0.00380 | 0.00389 | 0.05012   | 0.04961 | 0.04979 | 0.04899 | 0.04943 | 0.05004 |
|      | 0.6    | 0.00632   | 0.00313 | 0.00212 | 0.00147 | 0.00148 | 0.00109 | 0.04987   | 0.05069 | 0.05079 | 0.04937 | 0.05044 | 0.04903 |
|      | 0.7    | 0.00340   | 0.00096 | 0.00051 | 0.00029 | 0.00016 | 0.00023 | 0.04843   | 0.04978 | 0.05061 | 0.04900 | 0.04951 | 0.05050 |
|      | 0.8    | 0.00144   | 0.00026 | 0.00003 | 0.00005 | 0.00001 | 0.00000 | 0.04969   | 0.05062 | 0.05029 | 0.05086 | 0.04976 | 0.04896 |
|      | 0.9    | 0.00041   | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.04991   | 0.04980 | 0.05015 | 0.05028 | 0.04923 | 0.04951 |
| 4    | 0.0    | 0.04978   | 0.05078 | 0.04999 | 0.04958 | 0.05062 | 0.04812 | 0.05074   | 0.05051 | 0.05010 | 0.04938 | 0.05068 | 0.04774 |
|      | 0.1    | 0.03666   | 0.03722 | 0.03489 | 0.03443 | 0.03486 | 0.03439 | 0.05010   | 0.05175 | 0.05017 | 0.05038 | 0.04969 | 0.04958 |
|      | 0.2    | 0.02728   | 0.02377 | 0.02254 | 0.02199 | 0.02201 | 0.02159 | 0.05005   | 0.04944 | 0.04965 | 0.04938 | 0.04954 | 0.04942 |
|      | 0.3    | 0.01986   | 0.01516 | 0.01359 | 0.01283 | 0.01196 | 0.01202 | 0.05082   | 0.05055 | 0.04964 | 0.04942 | 0.04925 | 0.04952 |
|      | 0.4    | 0.01349   | 0.00923 | 0.00748 | 0.00681 | 0.00626 | 0.00604 | 0.04964   | 0.04986 | 0.04972 | 0.05049 | 0.05111 | 0.05088 |
|      | 0.5    | 0.00886   | 0.00411 | 0.00360 | 0.00303 | 0.00268 | 0.00233 | 0.05159   | 0.04893 | 0.05072 | 0.04989 | 0.05089 | 0.05049 |
|      | 0.6    | 0.00510   | 0.00180 | 0.00118 | 0.00081 | 0.00061 | 0.00044 | 0.04922   | 0.04990 | 0.05188 | 0.04982 | 0.04928 | 0.04884 |
|      | 0.7    | 0.00273   | 0.00070 | 0.00032 | 0.00017 | 0.00004 | 0.00010 | 0.05034   | 0.04974 | 0.05048 | 0.04962 | 0.05081 | 0.05109 |
|      | 0.8    | 0.00118   | 0.00014 | 0.00000 | 0.00003 | 0.00001 | 0.00000 | 0.05000   | 0.05031 | 0.05026 | 0.05070 | 0.05034 | 0.05146 |
|      | 0.9    | 0.00031   | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.05029   | 0.04964 | 0.04921 | 0.04998 | 0.05132 | 0.04983 |
| 5    | 0.0    | 0.05023   | 0.05021 | 0.05079 | 0.05064 | 0.04885 | 0.04916 | 0.04932   | 0.05027 | 0.05144 | 0.05065 | 0.04905 | 0.04908 |
|      | 0.1    | 0.03614   | 0.03357 | 0.03308 | 0.03268 | 0.03310 | 0.03249 | 0.05016   | 0.04911 | 0.04969 | 0.05003 | 0.05002 | 0.04955 |
|      | 0.2    | 0.02534   | 0.02244 | 0.02017 | 0.02023 | 0.02020 | 0.01966 | 0.05034   | 0.05006 | 0.04958 | 0.04918 | 0.05035 | 0.05083 |
|      | 0.3    | 0.01722   | 0.01302 | 0.01121 | 0.01091 | 0.01089 | 0.00987 | 0.05105   | 0.04936 | 0.04987 | 0.05039 | 0.04949 | 0.04902 |
|      | 0.4    | 0.01155   | 0.00707 | 0.00597 | 0.00534 | 0.00476 | 0.00426 | 0.05058   | 0.04951 | 0.05035 | 0.04921 | 0.04905 | 0.04955 |
|      | 0.5    | 0.00765   | 0.00335 | 0.00248 | 0.00204 | 0.00143 | 0.00154 | 0.04999   | 0.05048 | 0.04899 | 0.05072 | 0.05095 | 0.04897 |
|      | 0.6    | 0.00442   | 0.00130 | 0.00081 | 0.00059 | 0.00041 | 0.00026 | 0.05039   | 0.05065 | 0.05009 | 0.05123 | 0.04898 | 0.04976 |
|      | 0.7    | 0.00213   | 0.00039 | 0.00014 | 0.00014 | 0.00002 | 0.00002 | 0.05038   | 0.05053 | 0.04963 | 0.05018 | 0.04967 | 0.05002 |
|      | 0.8    | 0.00100   | 0.00008 | 0.00003 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00001 | 0.05169   | 0.05030 | 0.04999 | 0.04927 | 0.05053 | 0.05028 |
|      | 0.9    | 0.00016   | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.04935   | 0.04905 | 0.05026 | 0.04803 | 0.05065 | 0.05018 |
| 10   | 0.0    | 0.05064   | 0.04958 | 0.05024 | 0.04986 | 0.04941 | 0.05042 | 0.05083   | 0.04944 | 0.05034 | 0.04994 | 0.04932 | 0.05011 |
|      | 0.1    | 0.03199   | 0.02855 | 0.02827 | 0.02707 | 0.02794 | 0.02727 | 0.04996   | 0.04858 | 0.04967 | 0.04917 | 0.05022 | 0.05082 |
|      | 0.2    | 0.01902   | 0.01680 | 0.01500 | 0.01367 | 0.01375 | 0.01346 | 0.04887   | 0.05037 | 0.05135 | 0.04964 | 0.04907 | 0.05117 |
|      | 0.3    | 0.01206   | 0.00832 | 0.00639 | 0.00622 | 0.00595 | 0.00564 | 0.04961   | 0.05003 | 0.04996 | 0.05040 | 0.05081 | 0.05024 |
|      | 0.4    | 0.00769   | 0.00382 | 0.00249 | 0.00197 | 0.00158 | 0.00146 | 0.05103   | 0.05080 | 0.04963 | 0.05020 | 0.04986 | 0.04973 |
|      | 0.5    | 0.00443   | 0.00162 | 0.00075 | 0.00053 | 0.00043 | 0.00038 | 0.04979   | 0.05093 | 0.04914 | 0.04915 | 0.05053 | 0.04933 |
|      | 0.6    | 0.00218   | 0.00048 | 0.00020 | 0.00007 | 0.00006 | 0.00005 | 0.05001   | 0.05036 | 0.05022 | 0.05056 | 0.04993 | 0.04979 |
|      | 0.7    | 0.00133   | 0.00016 | 0.00004 | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.04988   | 0.04959 | 0.04984 | 0.04956 | 0.04922 | 0.05043 |
|      | 0.8    | 0.00047   | 0.00001 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.05056   | 0.05021 | 0.04832 | 0.05025 | 0.05030 | 0.04830 |
|      | 0.9    | 0.00007   | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.05054   | 0.04975 | 0.04957 | 0.05088 | 0.04994 | 0.05035 |

### Kaynaklar

- Cliff, N. 1997. Robustness and Power of D Statistics in Comparison to t For Paired Data. DAI-B 57/07, s. 4774.
- Çamdeviren, H. 1995. Tekrarlanan Ölçümlü Deneme Düzenleri. Yüksek Lisans Tezi. A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü. Basılmamış. 125 S.
- Düzgüneş, O., T. Kesici, O. Kavuncu ve F. Gürbüz. 1985. Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik II). A.Ü.Z.F. Yayınları. Yayın No: 445. 452 S.
- Gorham, J. L. 1998. The Effects on Type I Error Rate and Power of Selected Competitors to the ANOVA F Test in Randomized Block Design Under Non-Normality and Variance Heterogeneity. DAI-B 58/12, s. 6650.
- Gürbüz, F. E. Öğüş, H. Çamdeviren, E. A. Kanık ve B.Tekindal. 1999. Tek Faktörlü Tekrarlanan Ölçümlü Deneme Düzeni. 4. Ulusal Biyoistatistik Kongresi. 23-24 Eylül Ankara.
- Hsiung, T. H. and S. Olejnik, 1996. Type I Error Rates and Statistical Power for the James 2<sup>nd</sup>-Order Test and the Univariate F-Test in 2-Way Fixed Effects ANOVA Models Under Heteroscedasticity and/or Nonnormality. Jour. of Experimental Education, 65(1) 57-71.
- Kurita, K. 1996. The Biasing Effects of Violating the Independence Assumption Upon the Power of t-Test. Jap.Jour. of Educ. Psyc. 44(2), pp 234-242.
- Sokal, R. R. and F. J.Rohlf, 1995. Biometry. The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. Third Ed. W.H.Freeman and Co. New York, 887 S.
- Subrahmaniam, K. and K. Subrahmaniam, 1973. On the Multivariate Behrens-Fisher Problem. Biometrika, (60) 107-111
- Tiku, M. L. and M. Singh, 1981. Robust Test For Means When Population Variances are Unequal. Commun. Statist.-Ther. Math. A10(20) 2057-2071.
- Wang, Y. Y. 1971. Probabilities of the Type I Errors of the Welch Test for the Behrens-Fisher Problem. Jour. of the American Statist. Assoc. 66(335) 605-608.
- Ware, W. B. 1997. Detecting Departures From Normality: A Monte Carlo Simulation of a New Omnibus Test Based on Moments. DAI-A 58/04, s. 1196.
- Winer, B. J. 1971. Statistical Principles in Experimental Design. Sec.Ed. McGraw-Hill Book Co., New York-USA, 907 P.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth Ed. Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, USA. 663 S.