

HOTELLING T² VE MANOVA TESTLERİNDE GÜÇ ANALİZİ¹

Nurhan DOĞAN², Kazım ÖZDAMAR³, Setenay ÖNER³

¹ Doktora tezinin bir bölümüdür.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Biyoistatistik
Anabilim Dalı, Afyon.

³ Osman Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik Anabilim
Dalı, Eskişehir.

ÖZET

Çok değişkenli hipotezlerin testi sonucunda alınan bir kararın tutarlığı, geçerliliği ve güvenilirliği bilimsel olarak büyük önem taşımaktadır.

Bir istatistiksel testin gücü, α yanılma payı, grup sayısı, değişken sayısı, örnek büyüklüğü, değişkenin değişim genişliği ve fark vektörünün büyüklüğünden etkilenir. $1-\beta$ biçiminde hesaplanan istatistiksel güç, araştırmanın planlama aşamasında araştırmacının alacağı kararların gücünü belirleme, araştırma sonuçlandırıldığında da alınan kararın güvenilirliğini test etme ve yeterli güvenilirlikte kararın alınıp alınmadığını denetleme açısından uygulanması gereken bir yöntemdir.

Bu çalışmada, çok değişkenli varyans analizinde güç, değişik I. Tip hata(α), II. Tip hata (β), merkezi olmayışlık parametresi (λ), etki büyüklüğü (ES), örnek büyüklüğü (n), grup sayısı (g) ve değişken sayıları (p) ile ortalama fark vektörü büyüklüğü (d)'ne göre incelenmiştir.

Sonuç olarak çok değişkenli hipotezlerin yüksek güçle testini sağlamak için; Yanılma payı $\alpha=0.05$ 'ten $\alpha=0.01$ 'e doğru azalırken, ortalama vektörler arasındaki farklar büyürken, değişken sayısı ve değişkenlerin değişim aralığı artarken yüksek güç değerlerine ulaşmak için daha çok sayıda birim üzerinde çalışmak gerekmektedir.

Grup sayısı, değişken sayısı, ortalama fark vektörlerinin değerlerinin büyüklüğü istatistiksel gücün azalmasına yol açmaktadır. Bütün faktörleri dikkate alarak istenilen güçte araştırma planlamak için kaç örnekle çalışılacağı ve araştırma sonuçlandırıldığında verilen kararın gücünü belirlemek için güç analizi yönteminden yararlanmak gerekir.

Anahtar Kelimeler: İstatistiksel Güç Analizi, Hotelling T^2 , MANOVA, I. Tip Hata, II. Tip Hata

POWER ANALYSIS IN THE HOTELLING T^2 AND MANOVA TESTS

ABSTRACT

The validity, reliability and feasibility of the decision resulted from the test of multivariate hypothesis play a salient role in science.

The power of a statistical test is influenced by alpha error level, the number of the group, the number of variables, the size of sample, the variation width of the variables, and the size of the vector difference.

The statistical power calculated as a one minus beta is the essential method applied in determining the researcher's decision in the planning phase of the study, in testing reliability of the decision as a result of the study, and in checking if the reliable results are obtained.

In this study, the power in the multivariate analysis of variance was examined according to a different type I error (alpha), type II error (beta), non-central parameter, effect size, sample size, the number of groups, the number of variables, and size of mean difference vector.

As a result, in order to obtain the testing of multivariate hypothesis that has the highest power.

It is necessary to work on higher number of units to reach the highest power rate when an error level is decreasing from 0.05 to 0.01, when differences among mean vectors were increasing in size, and when the variation interval of variables is rising.

The number of groups, the number of variables and the size of the value of mean difference vectors cause a decrease of statistical power.

Considering all the factors, the number of subjects should be taken into consideration in order to plan a well-designed study. Besides, it is necessarily important that to benefit the power analysis method to be able to determine the power of decision as a result of the study.

Keywords: Statistical Power Analysis, Hotelling T^2 , MANOVA, Type I Error, Type II Error

1. GİRİŞ

Araştırmaların planlama aşamasında ortaya çıkabilecek olası sonuçların güvenilirliği ve araştırma sonlandığında ulaşılan kararların güvenilirliği güç analizi (power analysis) yöntemi ile incelenmektedir.

Araştırmalarda test edilen tek ve çok değişkenli H_0 ve H_1 hipotezlerinin tipi ve yönü güç analizinde büyük önem taşımaktadır. Klasik yaklaşımla yapılan bilimsel araştırmalarda H_0 hipotezi α yanılma payı dikkate alınarak H_1 hipotezine göre test edilmektedir. Çoğunlukla β yanılma payı olan, II tip hata ile fazlaca ilgilenilmemektedir. İstatistiksel analiz sonuçlarını değerlendirirken β yanılma payının dikkate alınmaması verilen kararların gücünü belirleme imkanını ortadan kaldırdığından, bilimsel araştırmaların güvenilirliğine ve geçerliğine güveni azaltabilir ya da bu tür araştırmalara güvenle bakılmayabilir.

İstatistiksel Güç Analizi, araştırmada izlenecek adımların planlanmasında, çalışmanın sahası ve düzeni araştırma sonuçlarını değerlendirme ve araştırma sonuçlarının etkinliğinin artırılmasında önemli kararlar vermek için mantıklı çerçeve oluşturmasını sağlar. Güç Analizi'ni uygulamak için öncelikle etki büyüklüğünün, α 'nın ve β 'nin düzeylerinin ne olacağı ile ilgili bir çok subjektif kararın alınması gerekmektedir [1, 2, 3].

Bir araştırmanın ortaya koyduğu bilginin geçerli ve güvenilir olması için güç analizi önemli bir istatistiksel denetleme mekanizmasıdır [2, 4].

Bu çalışma; bir çok bilimsel alanda uygulanmakta olan çok değişkenli istatistiksel testlerin geçerlilik, güvenilirlik ve tutarlılığını etkileyen α , β büyüklükleri, etki büyüklüğü, değişken sayısı, grup sayısı, ortalama fark vektörlerinin büyüklüğü ile ilgili değişimlerin güç analizi ile incelenmesini içermektedir.

Bu çalışmada gücü etkileyen tüm faktörler dikkate alınarak benzetim verileri yardımı ile çözümlenmeler yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada, güç değerleri üzerine etkide bulunduğu bilinen α , β , ES, d, g, p değişkenlerinin değişim aralıkları ve faktörlerin değişik kombinasyonları için seçilen benzetim verileri kullanılmıştır. Faktörlerin değişik seviyeleri için oluşturulan koşullarda istenilen güçteki hipotez testi için gerekli birim sayıları hesaplanmıştır.

İstatistiksel güç, gerçekte yanlış olan H_0 hipotezinin red edilmesi olasılığıdır. Buna **hipotez testinin gücü** denir ve kısaca,

$$\text{Güç} = 1 - \beta$$

ile gösterilir [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8].

α ve β olasılıklarının büyüklüğü bir hipotez testinin özelliğini belirler. Red bölgesinin genişletilmesi, I. tip hatanın büyümesine fakat II. tip hatanın küçülmesine; red bölgesinin daraltılması da, I. tip hatanın küçülmesine, fakat II. tip hatanın büyümesine yol açar. Örneklem büyüklüğü olan n 'nin büyümesi her iki hatanın da küçülmesini sağlar.

Çok değişkenli analiz, istatistiğin uygulamalarda kullanılan önemli bir alanıdır. Bu analizde bir sistemde yer alan p sayıda değişken söz konusudur. Kullanılan bir çok yöntemle, çok sayıda değişkenin oluşturduğu sistemin yapısı belirlenir ve istatistiksel yaklaşımla doğru karar için gerekli bilgi çıkartılır.

Değişken sayısının çok olması durumunda kurulacak çeşitli hipotezlerin tek değişkenli yöntemlerle test edilmesi ilk akla gelebilecek çözümdür. Ancak bu çözüm öngörülen hata payını çok artıracığı için pek uygun değildir [9].

Tek örneklem, iki örneklem ve çok örneklem durumlarında ortalama vektörlerine ilişkin hipotez testlerinde güç hesaplamaları yapılarak hipotez testinin hangi güçle test edildiği saptanır.

2.1. Hotelling T² Testi

Tek örnekleme ilişkin testlerin amacı mevcut örneklemin hipotezde belirtilen toplumdaki çekilip çekilmediğini açıklığa kavuşturmadır.

Çok değişkenli hipotezlerin testi için;

$$T^2 = n(\bar{x} - \mu_0)' S^{-1} (\bar{x} - \mu_0) \quad (1)$$

hesaplanmakta ve burada,

n : Örneklem genişliğini,

\bar{x} : Örneklem ortalama vektörünü,

μ_0 : Toplum ortalama vektörünü,

S : Örneklem kovaryans vektörünü,

göstermektedir [7, 10]. T^2 istatistiğinin önemliliğinin testi için F dağılımından yararlanılır. T^2 'nin F yaklaşım değeri:

$$F = \frac{(n-p)+1}{p} \left(\frac{T^2}{n} \right) \quad (2)$$

olarak tanımlanmaktadır. F test istatistiği p, (n-p+1, λ) serbestlik derecesi ile merkezi olmayan F dağılımı göstermektedir. λ, burada merkezi olmayışlık parametresidir ve

$$\lambda = n(\mu - \mu_0)' \Sigma^{-1} (\mu - \mu_0) \quad (3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. F testine ait güç hesaplamalarında kullanılmak üzere oluşturulan güç değerleri çizelgesi, λ parametresine, pay ve payda serbestlik derecesine bağlı olarak hazırlanmıştır. Hesaplanan λ değerinden yararlanılarak güç değerleri belirlenebilmektedir [11].

λ, merkezi olmayışlık parametresinden yararlanarak;

$$\phi = \left(\frac{\lambda}{p+1} \right)^{1/2} \quad (4)$$

değeri elde edilir [12,13]. F testine ait güç hesaplamalarında kullanılmak üzere oluşturulan güç değerleri çizelgesi, φ değerine, pay ve payda serbestlik derecesine bağlı olarak hazırlanmıştır. Hesaplanan φ değerinden yararlanılarak güç değerleri belirlenebilmektedir [11].

İki örnekleme ilişkin çok değişkenli hipotezler ortalama vektörlerin karşılaştırılması amacıyla kullanılmaktadır.

Hipotezin testi için;

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' S^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (5)$$

ile hesaplanmaktadır. Burada,

n₁ : Birinci örneklemdaki gözlem sayısını,

n₂ : İkinci örneklemdaki gözlem sayısını,

\bar{x}_1 : Birinci örneklemin ortalama vektörünü,

\bar{x}_2 : İkinci örneklemin ortalama vektörünü,

S : Ortak kovaryans matrisini,

göstermektedir ve

$$S = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (6)$$

olarak hesaplanmaktadır.

T² istatistiğinin önemliliğinin testi için F dağılımından yararlanılır. T²'nin F yaklaşım değeri:

$$F = \frac{n_1 + n_2 - p - 1}{p(n_1 + n_2 - 2)} (T^2) \quad (7)$$

olarak tanımlanmaktadır. F test istatistiği $p, (n-p+1, \lambda)$ serbestlik derecesi ile merkezi olmayan F dağılımı göstermektedir. Burada λ , merkezi olmayışlık parametresidir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [12,14].

$$\lambda = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) \quad (8)$$

λ , merkezi olmayışlık parametresinden yararlanarak;

$$\phi = \left(\frac{\lambda}{p+1} \right)^{1/2} \quad (9)$$

değeri elde edilir [15].

2.2. Çok Değişkenli Varyans Analizi (MANOVA)

Grup sayısı ikiden fazla olduğunda Hotelling T² yöntemi ile test yapılmaz. Bu durumda çok değişkenli varyans analizi kullanılır. Bu yöntem ile çok değişkenli normal dağılım gösteren g toplum ortalama vektörlerine ilişkin hipotezler test edilmektedir.

Tek yönlü çok değişkenli varyans analizi'nde H₀ hipotezi g toplum ortalama vektörlerinin birbirine eşit olduğunu varsayarken, H₁ hipotezi g toplum ortalama vektörlerinden en az birinin diğerlerinden farklı olduğunu ileri sürmektedir.

Gruplar arasındaki değişimin hataya göre önemliliğini test etmek üzere Wilks Lambda (L) istatistiğinden yararlanılır. Wilks Lambda değeri,

$$L = \frac{|W|}{|B+W|} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Burada,

W: Hata kareler toplamı ve çapraz çarpımlar toplamı matrisini,

B : Gruplararası kareler ve çarpımlar toplamı matrisini

göstermektedir.

Grup sayısı $g > 2$ ve değişken sayısı $p > 2$ olduğunda örneklerde birim sayısı n yeteri kadar büyük değil ise L'nin önemliliği F dağılımı yaklaşımı ile belirlenir ve

$$LL = \left(\frac{\sum n_i - p - 2}{p} \right) \left(\frac{1 - \sqrt{L}}{\sqrt{L}} \right) \quad (11)$$

şeklinde hesaplanır. LL test istatistiği, $2p, 2(n-p-2)$ serbestlik dereceli F dağılımı gösterir.

Rao F istatistiği,

$$F = \left(L^{-1/s} - 1 \right) \frac{v_2}{v_1} \quad (12)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada,

v_1 : Pay serbestlik derecesini, $v_1 = (g - 1)(p)$

v_2 : Payda serbestlik derecesini, $v_2 = s(h)(n-g-p+s(h))$

$s(h)$: $\min(p, g-1)$

g : Grup sayısını,

p : Bağımlı değişken sayısını,

göstermektedir [16].

Merkezi olmayışlık parametresi,

$$\lambda = s(h)(n)(ES) \quad (13)$$

ya da

$$\lambda = (ES)(v_1 + v_2 + 1) \quad (14)$$

olarak hesaplanır. Burada,

$$ES = L^{-1/s} - 1 \quad (15)$$

$$s = \sqrt{\frac{p^2(g-1)^2 - 4}{p^2 + (g-1)^2 - 5}} \quad (16)$$

göstermektedir.

λ , ES ve v_1 bilindiğinde,

$$v_2 = \frac{\lambda}{ES} v_1 - 1 \quad (17)$$

olarak hesaplanmaktadır. Toplam gözlem sayısı ise,

$$n = \frac{1}{s} \left(v_2 + \frac{v_1}{2} - 2 \right) + \frac{p + n(h) + 3}{2} + \max(p, n(h)) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmaktadır ve burada,

$n(h)$: test edilecek etkenin serbestlik derecesini

göstermektedir [1].

3. BULGULAR

Çok değişkenli hipotezlerin testinde güç, örneklem büyüklüklerinden, ortalamalar arası fark vektörlerinden ve varyans kovaryans matrisinden etkilenmektedir.

Tablo 1'de α 'nın 0.05, 0.03 ve 0.01 değerleri için farklı örnek büyüklüklerine göre gücün değişimi verilmiştir. Burada, iki örnekleme ilişkin çok değişkenli hipotezlerin testi için cevap değişken sayısı 3 ve ortalamalar arası fark vektörü $[3 \ -2 \ 3]$ olarak alınmıştır. Varyans kovaryans matrisi ise,

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 6 & -3 & 3 \\ -3 & 5 & -6 \\ 3 & -6 & 9 \end{bmatrix}$$

şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 1. Farklı α ve örnek büyüklüklerine göre güç değerleri

$n_1=n_2$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.03$	$\alpha=0.01$
10	0.64	0.54	0.35
12	0.75	0.67	0.48
14	0.84	0.77	0.60
16	0.89	0.84	0.70
18	0.93	0.89	0.78
20	0.96	0.93	0.85

Şekil 1'de α 'nın 0.05, 0.03 ve 0.01 değerleri için örnek büyüklüğüne göre gücün değişimi görülmektedir.



Şekil 1. Farklı α ve örnek büyüklüğüne göre gücün değişimi

Şekil 1'den de görüldüğü gibi örnek büyüklüğü ve α değeri arttıkça güç de artmaktadır.

Tek yönlü çok değişkenli varyans analizi uygulamalarında tek değişken dikkate alınmış ve düzey sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Tablo 2'de α 'nın 0.05, 0.03 ve 0.01 değerleri için farklı örnek büyüklüğüne göre gücün değişimi verilmiştir. Burada, ortalamalar matrisi ve kovaryans matrisi,

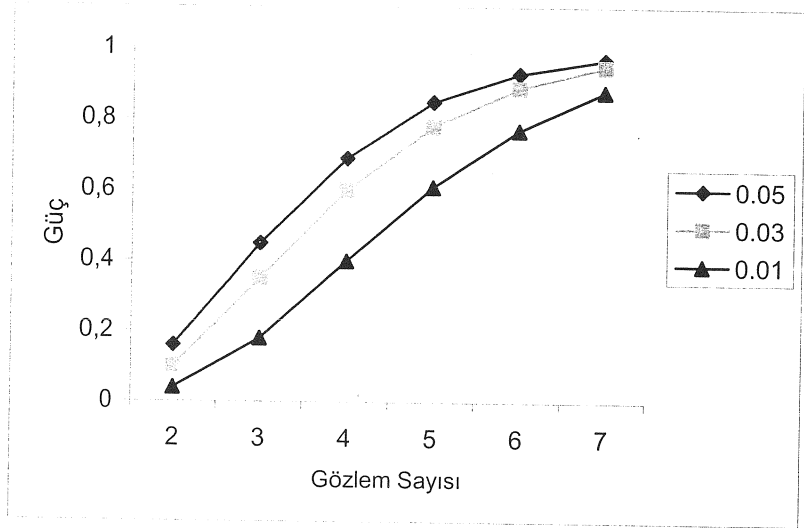
$$\bar{X} = \begin{bmatrix} 23 & 25 & 32 \\ 20 & 14 & 25 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} 21 & 25 \\ 30 & 52 \end{bmatrix}$$

olarak alınmıştır.

Tablo 2. Farklı α ve örnek büyüklüklerine göre güç değerleri

$n_1=n_2$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.03$	$\alpha=0.01$
2	0.16	0.10	0.04
3	0.45	0.35	0.18
4	0.69	0.60	0.40
5	0.85	0.78	0.61
6	0.93	0.89	0.77
7	0.97	0.95	0.88
8	0.98	0.97	0.94
9	0.99	0.99	0.97
10	0.99	0.99	0.98

Farklı α ve örnek büyüklüklerine göre elde edilen güç değerlerinin değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. α 'nın 0.05, 0.03 ve 0.01 değerleri için farklı örnek büyüklüklerine göre güç eğrileri

Şekil 2'den de görüldüğü gibi örnek büyüklüğü arttıkça güç hızlı bir şekilde artmaktadır. Aynı şekilde α değeri büyüdükçe güç de büyümektedir. Fakat büyük örnek büyüklüklerinde bu farklılık azalmaktadır.

F testine ilişkin güç hesaplamalarında kullanılmak üzere iki farklı tablo oluşturulmuştur. Bu tablolardan ilki ϕ parametresine, pay ve payda serbestlik derecesine bağlı olarak α 'nın 0.01 ve 0.05 değerleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu tablo hazırlanırken merkezi olmayan F dağılımından yararlanılmıştır. Araştırmacı yapmış olduğu çalışma ile ilgili gücü belirlemek için ϕ 'dan yararlanmak istiyorsa, ϕ 'nın, pay serbestlik derecesinin ve payda serbestlik derecesinin değerine karşılık gelen güç değerini her hangi bir işleme gerek duymadan belirleyebilecektir. Elde edilen ikinci tablo merkezi olmayışlık parametresine, pay ve payda serbestlik derecesine bağlı olarak α 'nın 0.01 ve 0.05 değerleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. λ 'nın, pay ve payda serbestlik derecesinin her bir değeri için güç değerleri belirlenmiştir. Araştırmacı yapmış olduğu çalışmadaki λ , pay ve payda serbestlik derecesinden yararlanarak her hangi bir işleme gerek duymadan kolaylıkla gücü belirleyebilecektir [11].

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırmalarda elde edilen kararların geçerliğinin ve güvenilirliğinin yüksek olmasını sağlamak için araştırma, doğru toplumda doğru değişkenler ile, yeterli güçte ve yeterli sayıda birimde yapılmalıdır. Planlanan araştırma, uygun araştırma desenleri kullanılarak yürütülmeli ve elde edilen veriler uygun istatistiksel testlerle denetlenmelidir.

Araştırma planlanmasında en önemli soru “arzu ettiğim kesinlikteki tahmin düzeyine ulaşmak için ne kadar örnek birime ihtiyaç duyacağım” sorusudur. Bu sorunun kolay ve doğru yanıtı α , β ve ES değerlerine göre güç analizi ile örnek büyüklüğünün belirlenmesidir [3,17, 18].

Araştırmacı araştırmaya başlamadan önce örnek büyüklüğü ve testin gücü ile ilgili bir çalışma yaparsa hem gereksiz maliyet ve zaman israfından kaçınmış hem de aynı zamanda testin gücü hakkında bir fikir edinmiş olacaktır. Güç analizi gereğinden az ya da fazla örnek sayısının kullanılmasını engeller ve belirlenen geçerlilik ve güvenilirlikte kararlara ulaşılmasını garantiye alır.

Güç analizi istatistiksel hipotez testlerinde büyük bir öneme sahiptir. Sıfır hipotezlerinin testinde, I. tip hata tahmin edilmez sadece belirlenir. Dolayısıyla önemlilik testlerinin yapılandırılmasında asıl ilgilenilmesi gereken gücün maksimize edilmesi olmalıdır. Gücün maksimize edilmesi, geniş örneklerin toplanması veya homojen birimlerle çalışılması ile sağlanabilir.

Sıfır hipotezinin test edilmesi sırasında α 'nın düzeyi daima araştırmacının isteğine göre belirlenir. Zorunlu olmadıkça α 'nın düzeyi hiç bir zaman gereğinden fazla seçilmemelidir.

Araştırma planlama aşamasında ve karar aşamasında β olasılığını hesaplamak ya da kontrol altına almak mümkündür. α 'yı küçülterek yanlış karara varma olasılığı azaltılamaz. Çünkü α 'nın küçültülmesi ile β 'nin değeri büyümektedir. Hatalardan herhangi biri küçültülürken diğerinin artmaması ancak örneklem büyüklüğünün artırılması ile mümkündür [1,19].

Gücün belirlenmesinde kullanılan diğer tüm etkenler sabit olmak koşulu ile, α yanılma düzeyinin 0.05 olarak seçilmesi durumunda gücün, 0.01 yanılma düzeyine göre daha büyük olduğu görülmüştür. Yalnız büyük örneklerde bu farkın giderek azaldığı ve ortadan kalktığı gözlenmiştir.

Çok değişkenli varyans analizinde güç, ortalamalar arası farka, kovaryans matrisine, gruplardaki örnek büyüklüğüne, değişken sayısına ve I. tip hata değerine bağlı olarak değişmektedir. Örnek büyüklüğü, ortalamalar arası fark ve I. tip hata değeri arttıkça güç artmakta fakat varyans ve değişken sayısı arttıkça güç düşmektedir.

Bütün deneysel çalışma tiplerinde güç, en çok örneklem büyüklüğünden etkilenmektedir. Diğer tüm etkenler sabit olmak koşulu ile örneklem büyüklüğünün artırılması gücün hızlı bir şekilde artmasına neden olmaktadır. Deneysel araştırmaların tiplerine göre güç, farklı örneklem büyüklüklerinde doyum noktasına ulaşmaktadır. Eğer örneklem büyüklüğü, araştırmaya başlamadan önce tespit edilirse, hem gerektiğinden fazla örneklem seçilmemiş, hem de yapılacak araştırmanın yaklaşık gücü hesaplanmış olur. Böylelikle araştırmacı hem gereksiz zaman harcamaktan hem de gereksiz masraflardan kurtulur.

Planlama aşamasında güç analizi ile örnek büyüklüğü kontrolü yapılmamış araştırmalarda, gücün kontrol edilmemesi nedeniyle araştırmanın istatistiksel gücü küçük çıkabilmektedir. Bu nedenle araştırmalarda yüksek geçerlik ve güvenilirlikte kararlar üretilebilmesi için planlama aşamasında benzetim çalışmaları ile güç analizlerin yapılması gerekir. Böylece araştırmalardan elde edilen kararların bilimsel güçlerinin kontrol altına alınarak yükseltilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Cohen, J., *Statistical Power Analysis For the Behavioral Sciences* (2 nd ed), Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, (1988).
2. Murphy, K. R. And Myers, B., *Statistical Power Analysis: A Simple and General Model for Traditional and Modern Hypothesis Tests*, Lawrence Erlbaum Associates Inc., New Jersey, (1998).
3. Sawyer, A. G. and Ball, A. D., *Statistical Power and Effect Size in Marketing Research*, *Journal of Marketing Research*, 18, 275-90, (1981).
4. Steidl, R. J., Hayes, J. P., Schaubert, E., *Statistical Power Analysis in Wildlife Research*, *Journal of Wildlife Management*, 61(2), 270-279, (1997).
5. Kirk, R. E., *Experimental Design: Procedures for Behavioral Sciences* (3rd ed.), Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, (1995).
6. Lipsey, M. W., *Design Sensitivity: Statistical Power for Experimental Research*, Sage Publications Inc., California, (1990).
7. Özdamar, K., *Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi-2*, Kaan Kitabevi, Eskişehir, (2002).
8. Zar, J. H., *Biostatistical Analysis* (3 rd ed.), Prentice-Hall Inc., London, (1996).

9. Tatlıdil, H., Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Cem Ofset Ltd. Şti., Ankara, (1996).
10. Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., Multivariate data Analysis with Readings, Prentice-Hall, inc., New Jersey, (1992).
11. Doğan, N., Değişik Deneme Desenleri ve Örnek Hacimleri İçeren Araştırmalarda α ve β Hatalarına Bağlı Güç Analizi, Doktora Tezi, Biyoistatistik Anabilim Dalı, Eskişehir (2002).
12. Ncss and Pass 2002 Inc., Hintzz, J. Number Cruncher Statistical systems. www.NCSS.com.
13. Odeh, R.E. and Fox, M., Sample Size Choice: Charts for Experiments with Linear Models (2 nd ed.), Marcel Dekker Inc., New York, (1991).
14. Algina, J., Hombo, C.M., Power Calculation for Independent Samples Hotelling's T^2 Using Proc Iml in Sas, Educational and Psychological Measurement, 58(1), 154-157, (1998).
15. Neill H. Timm, Multivariate Analysis With Application and Psychology, Brooks / Cole Publishing Company, California, (1975).
16. Buchner, A., Power Analysis, Graduate Program, Cognitive Psychology, Geneve, (2002).
17. O'brien R.G., Muller, K.E., Applied Analysis of Variance in the Behavioral Sciences, Edwards, L.K, Chapter 8, Unified Power Analysis For t-Tests trough Multivariate Hypotheses, 297-344, New York, (1993).
18. Solow, A.R., Steele, J.H., On Sample Size, Statistical Power, and The Dedection of Density Dependence, Journal of Animal Ecology, 59, 1073-1076, (1990).
19. Stoks, J. T., Basic Statistics Review, Ph.D., <http://www.msu.edu/user/sw/statrev/strv50.htm>, (2001).

