

Çoklu Regresyon Analizinde Bağımsız Değişkenlerin Önem Testleri İçin Minimum Örnek Hacimlerinin Belirlenmesi: Monte Carlo Simülasyon Çalışması

Determination of Minimum Sample Size for Testing Effect of Independent Variables in Multiple Linear Regression Analysis: A Monte Carlo Simulation Study

Mehmet MENDEŞ^a

^aZootekni Bölümü,
Biyometri ve Genetik AD,
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Ziraat Fakültesi, Çanakkale

Geliş Tarihi/Received: 16.12.2008
Kabul Tarihi/Accepted: 12.02.2009

Yazışma Adresi/Correspondence:
Mehmet MENDEŞ
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Ziraat Fakültesi,
Zootekni Bölümü,
Biyometri ve Genetik AD, Çanakkale,
TÜRKİYE/TURKEY
mmendes@comu.edu.tr

ÖZET Amaç: Bu çalışmanın amacı, çoklu regresyon analizinde modele giren bağımsız değişkenlerin gerçek etkilerini ortaya koyabilmek için gerekli olan minimum örnek hacimlerini belirlemektir. **Gereç ve Yöntemler:** Bu çalışmanın materyalini Microsoft FORTRAN 90 programının IMSL kütüphanesinin RNMVN fonksiyonundan yararlanılarak üretilen tesadüf sayıları oluşturmuştur. Çalışmada, popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ρ) ve dolayısıyla da etki büyüklüğü (f^2), modele giren bağımsız değişken sayısı (p) ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığına bağlı olarak %80 lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacimleri belirlenmiştir. Bu deneme koşulları 50000 defa tekrarlanmış ve bunun sonucunda %80'lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacimleri belirlenmiştir. **Bulgular:** Yapılan 50 000 simülasyon denemesi sonucunda ρ ve dolayısıyla f^2 arttıkça, %80'lik güç değerini sağlayan örnek hacimlerinin düştüğü görülmüştür. Deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığının $\alpha=0.05$ 'ten $\alpha=0.01$ 'e düşürülmesi durumunda ise %80 lik güç değerine ulaşabilmek için daha fazla gözlemlerle çalışılması gerekmektedir. Diğer taraftan bağımsız değişken sayısının örnek hacmi üzerine olan etkisi genel olarak çok yüksek düzeylerde olmamakla birlikte, bağımsız değişken sayısındaki artış beraberinde daha fazla gözlemlerle çalışmayı gerektirmektedir. Ancak, modele giren her bir bağımsız değişken için kaç gözleme ihtiyaç duyulacağı ise ρ (ya da f^2) ve α ya bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Aynı deneme koşullarında ρ ya da f^2 arttıkça modele girecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısının düştüğü görülmüştür. **Sonuç:** Sonuç olarak gerekli olan örnek hacmi belirlenirken, modele girecek bağımsız değişken sayısından ziyade etki büyüklüğü ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığının dikkate alınmasında yarar vardır.

Anahtar Kelimeler: Örnek hacmi; doğrusal regresyon

ABSTRACT Objective: The objective of this study was determined the minimum sample size required to display the effects of the independent variables in multiple regression analysis. **Material and Methods:** The random numbers generated by the RNMVN function of IMSL library of Microsoft FORTRAN 90 was used. In the study, multiple correlation coefficient of the population (ρ) or effect size (f^2), the number of independent variables (p) and, the minimum sample sizes which satisfies 80% of power value depending on the α level were determined. These conditions were repeated 50,000 times. **Results:** Simulation results showed that as ρ increases, the sample sizes decrease. As for the case decreasing the α level from $\alpha=0.05$ to $\alpha=0.01$, more observations must be included in the study to reach 80% of test power. Being the effect of the p on the sample size generally not too much, the increase in the number of the p requires studying with more observations. it was observed that determining how many observations will going to be needed for each independent variable included in the model, chances with respect to the ρ and α . Under the same experimental conditions, it was observed that as the ρ increase, the number of observation required for each independent variable which will be included in the model, decreases. **Conclusion:** While determining the sample size required, there is an advantage of taking into account the ρ (or f^2) and the α level, instead of the number of the independent variables in the model.

Key Words: Sample size; linear models

Çoklu regresyon analizi; başta ziraat, tıp, ormancılık ve eczacılık olmak üzere uygulamada en yaygın kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerinden birisidir.^{1,2} Çoklu regresyon analizine esas olarak a) bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin araştırılması, b) bağımsız değişkenlerin aldıkları her bir değere karşılık bağımlı değişkenin alabileceği değerlerin tahmin edilmesi ve c) bağımlı değişkenin tahmin edilmesinde en etkili olan bağımsız değişken ya da değişkenlerin belirlenmesi olmak üzere üç amaçla başvurulur.^{3,4} Uygulamada bu kadar yaygın olarak kullanılan çoklu regresyon analizinden beklenen yararların sağlanabilmesi, çalışılan veri setinde bir takım ön şartların yerine gelmesine bağlıdır.⁵ Söz konusu varsayımların yerine gelip gelmemesi de çalışılan örnek hacmi ile oldukça yakından ilişkilidir. Diğer bir ifade ile regresyon analizi sonuçlarının güvenilirliği, çalışılan örnek hacmi ile yakından ilişkilidir.^{6,7} Uygulamada ne kadar fazla gözlemlerle çalışılırsa o kadar iyidir denilir.^{8,9} Bu görüş teorik olarak doğrudur. Çünkü, büyük hacimli örneklerle çalışılması hem yapılacak parametre tahminlerindeki güvenilirlik derecesini, hem de elde edilen sonuçların populasyonun tamamına genelleştirme olanağını artırır. Ancak, uygulamada değişik sebeplerden dolayı her zaman çok sayıda gözlemlerle çalışılması pek mümkün olamamaktadır.^{9,10} Bu durumda da araştırmacı ister istemez daha az sayıda gözlemlerle çalışmak durumunda kalmaktadır. Bu noktada cevaplandırılması gereken kritik soru: modele dahil edilen bağımsız değişkenlerin gerçek etkilerinin ortaya çıkartılmasına imkan verebilecek minimum örnek hacmi kaçtır? ya da “en az kaç gözlemlerle çalışılmalıdır ki gerçekte önemli olan farklılıklar ya da ilişkiler ortaya çıkartılabilsin” sorusudur. Bu sorunun cevabı pek kolay değildir. Çünkü, örnek hacmi; deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata düzeyi ($\alpha=0.01$ ya da $\alpha=0.05$), bağımsız değişken sayısı (p), bağımsız değişkenlerin özel (fixed) ya da rastgele (random) modele dahil edildikleri, populasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ρ), etki büyüklüğü (f^2) ve ulaşılmak istenen güç düzeyi ($1-\beta$) gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir.^{6,11,12} Uygulamada testin gücü ile örnek hacmi arasındaki pozitif iliş-

kiden yararlanılarak örnek hacminin belirlenmesine yönelik birçok çalışma yapılmıştır.^{6,13-19} Ancak buna karşın hala gerekli örnek hacminin kaç olması gerektiği sorusu hakkında bilim adamları arasında tam bir fikir birliği sağlanamamıştır. Öyle ki, literatürler incelendiğinde her bir bağımsız değişken için 5'ten 50'ye kadar ekstra gözlemin örneğe dahil edilmesi gerektiğine ilişkin bilgilere rastlanılmaktadır. Stevens, çoklu regresyon analizinde modele dahil edilen her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısının 15 olmasını önermiştir.⁵ Gren, Tabachnick ve Fidel örnek hacminin belirlenmesi üzerine yaptığı çalışmalarda çoklu regresyon modelinin önemliliğinin test edilmesi için gerekli olan örnek hacminin $N>50+8p$ şeklinde, her bir bağımsız değişkenin ayrı ayrı test edilmesi için gerekli örnek hacminin ise $N>=104+p$ şeklinde olması gerektiğini bildirmiştir.^{15,21} Bu yaklaşımlar dikkate alındığında modelde iki bağımsız değişkenin bulunması durumunda bile gerekli olan örnek hacimlerinin 66 ve 106 olması gerekmektedir. Ancak bu örnek hacimleri uygulamada yapılan pek çok çalışma için her zaman sağlanabilecek örnek hacimleri değildir. Milton çoklu regresyon analizi için gerekli olan örnek hacminin $n = p + 1 + \frac{t^2(1-R^2)}{\Delta r_j^2}$ şeklindeki bir formülden yararlanılarak hesaplanabileceğini bildirmiştir.²² Buradaki p : bağımsız değişken sayısını, Δr_j^2 : en son değişken modele girildiğinde j . Değişken tarafından açıklanabilen varyasyonu, R^2 model tarafından açıklanabilen varyasyonu gösterir.

Diğer yandan gerekli olan örnek hacminin bağımsız değişken sayısının 5 katı kadar olması gerektiği görüşü uygulamada genel olarak kabul görmüş bir görüştür. Uygulamada her ne kadar bu kuraldan yararlanılarak gerekli örnek hacminin belirlenmesi Green ve Milton tarafından önerilen örnek hacimlerine göre daha kolay olsa da özellikle modele girecek bağımsız değişken sayısının artması durumunda gerekli olan örnek hacmi de artacaktır.^{15,22} Mesela modeldeki bağımsız değişken sayısının 5 olması durumunda en az 25 gözlemlerle, bağımsız değişken sayısının 10 olması durumunda ise en az 50 gözlemlerle çalışılması gerekir. İşte bu durumda gerek modelin önemliliğini ve gerekse de

modele giren bağımsız değişkenlerin ayrı ayrı önemliliklerinin güvenilir bir şekilde test edilmesini sağlayacak minimum örnek hacminin belirlenmesinde büyük yarar vardır. Diğer bir ifade ile optimum örnek genişliğinin belirlenmesi gerekir. Optimum örnek hacmi ise; %80'lik güç değerini sağlayan minimum örnek genişliği olarak kabul edilebilir.^{9,10,13,23}

Bu çalışmada deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığı, denemedeki bağımsız değişken sayısı ve popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ve dolayısıyla da etki büyüklüğü) dikkate alınarak çoklu regresyon analizinde regresyon katsayılarının gerçek etkilerinin ortaya konulmasına imkan verebilecek minimum örnek genişliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla testin gücü ile örnek hacmi arasındaki ilişkilerden yararlanılmış ve %80'lik testin güç değerini sağlayan minimum örnek genişlikleri uygun örnek genişlikleri olarak kabul edilmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu çalışmanın materyalini simülasyon tekniği ile üretilen tesadüf sayıları oluşturmuştur. Tesadüf sayılarının üretilmesinde Microsoft FORTRAN programının IMSL kütüphanesinden yararlanılmıştır.²⁴ Çalışmada hataların ortalamasının sıfır ve sabit varyanslı normal dağılım gösterdiği durumlar dikkate alınmıştır. Bu amaçla IMSL kütüphanesinin RNMVN fonksiyonundan yararlanılmıştır. Çalışmada, bağımsız değişken sayısı ($p=2, 3, \dots, 10$), popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı ($\rho=0.10, 0.20, 0.30, \dots, 0.90$) ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata düzeylerine ($\alpha=0.01$ ve 0.05) bağlı olarak %80'lik güç değerini gerçekleştiren minimum örnek hacimleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu şekilde dikkate alınan her bir deneme kombinasyonu 50 000 defa tekrarlanmıştır.²⁵ Dolayısıyla 50000 simülasyon denemesi sonucunda %80'lik güç değerini sağlayan en küçük örnek hacimleri söz konusu deneme koşulları için uygun örnek hacimleri olarak kabul edilmiştir.

Bilindiği üzere testin gücünün hesaplanabilmesi için etki büyüklüğüne (f^2) ihtiyaç vardır. f^2 'de $f^2 = \frac{R^2}{(1-R^2)}$ şeklinde ya da p =bağımsız değişken sayısını, v = ($N - p - 1$) hata serbestlik derecesini ve λ

da merkezi olamama parametresini göstermek üzere $f^2 = \frac{\lambda}{(p+v+1)}$ şeklinde tanımlanabilir.¹³ Merkezi olmama parametresi $\lambda=f^2(p+v+1)$ şeklinde hesaplanır.^{4,13} Dolayısıyla merkezi olmama parametresi H_0 hipotezinin doğru olmadığı ya da reddedildiği durumlarda testin gücü ve örnek hacminin hesaplanmasında dikkate alınan bir parametredir.²⁶ Bu çalışmada tesadüf sayılarının üretilmesinde popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayıları dikkate alındığı için etki büyüklüğü $f^2 = \frac{R^2}{(1-R^2)}$ şeklinde hesaplanmıştır.¹³ Buradaki R^2 , çoklu korelasyon katsayısının karesini diğer bir ifade ile Y 'nin (bağımlı değişkenin) orijinal değerleri ile çoklu regresyon modelinden yararlanılarak tahmin edilen \hat{Y} değerleri arasındaki korelasyon katsayısını göstermektedir. Dolayısıyla testin gücü, dikkate alınan deneme koşullarında gerçekte yanlış olan H_0 hipotezi sayısının toplam simülasyon sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI

Bağımsız değişken sayısı (p), popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ρ) ve dolayısıyla da etki büyüklüğü (f^2) ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılıklarına ($\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.01$) bağlı olarak %80'lik güç değeri gerçekleştiren minimum örnek hacimleri Tablo 1, Tablo 2, Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

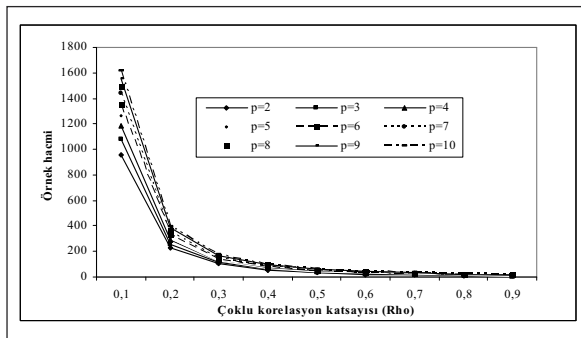
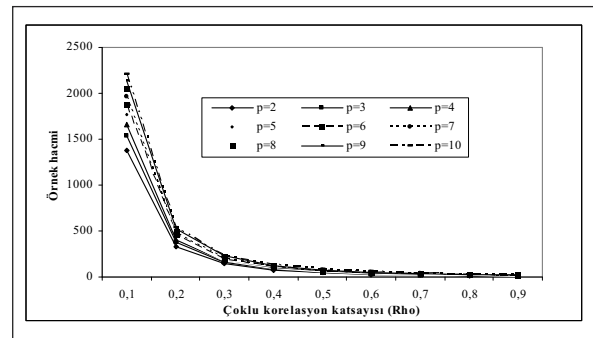
Dikkat edileceği üzere modele dahil edilecek bağımsız değişken sayısı arttıkça %80'lik güç değerine ulaşabilmek için daha fazla gözlemle çalışılması gerekmektedir (Tablo 1). Mesela $\rho=0.30$, diğer bir ifade ile etki büyüklüğü düşük iken ($f^2=0.10$), modelde iki bağımsız değişkenin ($p=2$) bulunması durumunda %80'lik güç değerine ulaşabilmek için en az 101 gözlemle çalışılması gerekirken, modeldeki bağımsız değişken sayısının 5 olması durumunda en az 132 gözlemle çalışılması gerekmektedir. Modeldeki bağımsız değişken sayısının 10 olması halinde ise en az 174 gözlemle çalışılması gerekmektedir. $p=0.40$ ya da etki büyüklüğünün orta düzeyde ($f^2=0.19$) olması durumunda modeldeki bağımsız değişken sayısı 2 iken %80'lik güç değerine ulaşabilmek için gerekli olan minimum örnek genişliği 54 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda modeldeki bağımsız değişken sayısının 5 olması durumunda ise

TABLO 1: $\alpha=0.05$ iken çoklu korelasyon katsayısı (dolayısıyla etki büyüklüğü) ve bağımsız değişken sayısına bağlı olarak %80'lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacimleri.

Çoklu korr. katsayısı ρ	Etki büyüklüğü f^2	Bağımsız değişken sayıları (p)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,10	0.01	955	1078	1183	1268	1351	1437	1491	1555	1617
0,20	0.04	232	256	288	311	331	349	367	383	398
0,30	0.10	101	112	123	132	142	151	159	166	174
0,40	0.19	54	61	70	74	83	89	93	95	99
0,50	0.33	33	39	42	45	49	52	55	58	62
0,60	0.56	21	24	27	31	33	37	40	41	43
0,70	0.96	15	19	22	25	26	28	30	32	35
0,80	1.78	13	15	16	17	17	18	20	21	22
0,90	4.26	9	10	12	12	14	15	17	17	19

TABLO 2: $\alpha=0.01$ iken çoklu korelasyon katsayısı (dolayısıyla etki büyüklüğü) ve bağımsız değişken sayısına bağlı olarak %80 lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacimleri.

Çoklu korr. katsayısı ρ	Etki büyüklüğü f^2	Bağımsız değişken sayıları (p)								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,10	0.01	1375	1536	1659	1769	1877	1966	2051	2129	2205
0,20	0.04	335	373	405	433	459	481	501	522	542
0,30	0.10	141	159	173	185	198	208	217	227	236
0,40	0.19	77	86	93	101	107	114	120	125	130
0,50	0.33	46	52	58	62	66	71	75	78	83
0,60	0.56	30	34	39	42	44	48	51	53	56
0,70	0.96	20	23	25	29	32	35	37	38	40
0,80	1.78	15	18	19	19	23	24	26	26	28
0,90	4.26	11	12	14	15	15	17	19	20	22

**ŞEKİL 1:** $\alpha=0.05$ iken çoklu korelasyon katsayısı ve bağımsız değişken sayısına göre örnek hacimlerinin değişimleri.**ŞEKİL 2:** $\alpha=0.05$ iken çoklu korelasyon katsayısı ve bağımsız değişken sayısına göre örnek hacimlerinin değişimleri.

%80'lik güç değerine ulaşabilmek için en az 74 gözlemlerle, 10 olması durumunda ise en az 99 gözlemlerle çalışılması gerekmektedir. Aynı koşullarda $\rho=0.60$ veya etki büyüklüğünün büyük ($f^2=0.56$) olması du-

rumunda ise %80'lik güç değerine ulaşabilmek için gerekli olan minimum örnek genişlikleri sırasıyla 21, 31 ve 43 olarak bulunmuştur. Dikkat edileceği üzere etki büyüklüğü arttıkça, daha az gözlemlerle

%80'lik güç değerine ulaşılmaktadır. Diğer taraftan modele girecek bağımsız değişken sayısı arttıkça %80'lik güç değerine ulaşabilmek için daha fazla gözlemle çalışılması gerekmektedir.

Deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığının $\alpha=0.01$ olarak kararlaştırılması durumunda %80'lik güç değerine ulaşabilmek için gerekli olan örnek hacmi, 1.tip hatanın $\alpha=0.05$ olarak kararlaştırılması durumuna göre biraz daha fazladır (Tablo 2). Mesela $\rho=0.30$ ve bağımsız değişken sayısı $p=2$ iken, %80'lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacmi 141 iken, aynı koşullarda $\alpha=0.05$ iken bu değer 101 olduğu görülür. Benzer şekilde $\alpha=0.01$ ve $p=5$ iken 185 gözlemle çalışılması durumunda %80'lik güç değerine ulaşılabilirken, aynı koşullarda $\alpha=0.05$ olması halinde ise bu değer 132 olduğu görülür. Dikkat edileceği üzere deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata seviyesinin düşük tutulması, %80'lik güç değerine ulaşmak için gerekli olan örnek hacminin belirgin bir şekilde arttırılmasını gerektirmiştir. Diğer taraftan bu iki koşul ($\alpha=0.01$ ve $\alpha=0.05$) için gerekli olan örnek hacimleri arasındaki farklılıklar ρ ve dolayısıyla da etki büyüklüğünün arttırılmasına paralel olarak azalmıştır. Mesela $\alpha=0.05$, $\rho=0.50$ ve $p=3$ iken 39 gözlemle çalışılması, aynı koşullarda $\rho=0.70$ olduğunda 19 ve $\rho=0.90$ iken 10 gözlemle çalışılması durumunda %80'lik güç değerine ulaşılırken, $\alpha=0.01$ olarak kararlaştırıldığında ise gerekli olan örnek hacimleri ise sırasıyla 52, 23 ve 12 olarak bulunmuştur. $\alpha=0.05$, $\rho=0.50$, 0.70, 0.90 ve $p=6$ olması durumunda %80'lik güç değerini sağlayan örnek hacimleri sırasıyla 49, 16 ve 19 olarak bulunmuştur. Aynı koşullarda $\alpha=0.01$ olarak kararlaştırılması halinde ise gerekli olan minimum örnek hacimleri sırasıyla 66, 32 ve 15 olarak bulunmuştur. Dikkat edileceği üzere ρ 'nun ve dolayısıyla da etki büyüklüğünün artması halinde modele alınacak bağımsız değişken sayısındaki artış, %80'lik güç değerini sağlayacak örnek hacimlerinde önemli değişikliklere neden olmamaktadır. Diğer taraftan modele girecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan örnek hacmi için kesin bir şey söylemek yanıltıcı olabilir. Çünkü, modele giren her bir bağımsız değişken için kaç gözlemin gerekli olduğu, popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ρ) ve dolayısıyla da etki büyüklüğü (f^2) ile oldukça ya-

kından ilişkilidir. Buna karşın $\alpha=0.05$ için (Tablo 1) genel bir değerlendirme yapıldığı zaman popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı ($\rho=0.10$) ve dolayısıyla etki büyüklüğünün çok küçük olduğu durumlarda ($f^2=0.01$) için her bir yeni bağımsız değişkenin modele dahil edilmesi durumunda ortalama olarak 83 gözlemin gerekli olduğu görülmüştür. Buna karşın popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısının artmasına paralel olarak modele dahil edilecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısında düşüş olmuştur. Mesela $\rho=0.20$ ya da $f^2=0.04$ iken, modele dahil edilecek her yeni bir bağımsız değişken için ortalama 21 gözleme ihtiyaç duyulmuştur. $\rho=0.30$, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80 ve 0.90 ya da etki büyüklüklerinin $f^2=0.10$, 0.19, 0.33, 0.56, 0.96, 1.78 ve 4.26 olduğu durumlar da modele ilave edilecek her bir yeni bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayıları ortalama olarak sırasıyla: 9, 6, 4, 3, 3, 1 ve 1 olarak belirlenmiştir. Dikkat edileceği üzere her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısı için genel bir rakam ifade etmek pek mümkün değildir. Benzer durum $\alpha=0.01$ için de geçerlidir (Tablo 2). Aynı deneme koşullarında modele dahil edilecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayıları yaklaşık olarak 104, 26, 12, 7, 5, 3, 3, 2 ve 1 olarak bulunmuştur.

Deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılıkları, modeldeki bağımsız değişken sayıları ve popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısına bağlı olarak %80'lik güç değerlerini gerçekleştiren örnek hacimleri Şekil 1 ve Şekil 2'den de görülebilir. Şekil 1 ve Şekil 2 birlikte değerlendirildiğinde ilk göze çarpan nokta modeldeki bağımsız değişken sayısı ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığı ne olursa olsun, popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı ve dolayısıyla da etki büyüklüğünün artmasına paralel olarak %80'lik güç değerinin giderek daha küçük örnek hacimleri ile sağlandığıdır. Diğer taraftan 1.tip hata olasılığının deneme başında 0.05 yerine 0.01 olarak kararlaştırılması, araştırmacıları daha büyük hacimli örneklerle çalışma mecburiyetinde bırakmıştır.

TARTIŞMA

Çoklu regresyon analizinde örnek hacmi oldukça önemlidir. Çünkü hem yapılan parametre tahmin-

lerindeki güvenilirlik derecesi hem de elde edilen sonuçların popülasyonun tamamına genelleştirilebilme olasılığı çalışılan örnek hacmi büyüdükçe artmaktadır. Ancak uygulamada her zaman örnek hacminin istenildiği kadar artırılması mümkün değildir. Bununla birlikte gereğinden küçük hacimli örneklerle çalışılması durumunda yapılacak parametre tahminlerindeki güvenilirlik derecesi azalmakta ve elde edilen sonuçların popülasyonun tamamına genelleştirilebilme olanağı düşmektedir. Diğer taraftan gereğinden fazla gözlemlerle çalışılması da kaynakların israf edilmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu durumda modele dahil edilen bağımsız değişkenlerin gerçek etkilerini güvenilir bir şekilde ortaya koymaya imkan verebilecek minimum örnek hacminin belirlenmesi oldukça yararlı olacaktır. Bu noktadan hareketle yürütülmüş bu çalışmada uygulamada yaygın olarak karşılaşılan deneme koşulları altında %80'lik güç değerlerini sağlayan minimum örnek hacimleri belirlenmiştir. Yapılan simülasyon denemeleri sonucunda örnek hacminin esas olarak popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı ve dolayısıyla da etki büyüklüğü, ulaşılmak istenen güç değeri ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığından etkilendiği görülmüştür. Özellikle popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı düştükçe (etki büyüklüğü azaldıkça) diğer bir ifade ile söz konusu modelin bağımlı değişkendeki varyasyonu açıklama payı düştükçe, modele giren bağımsız değişkenlerin gerçek etkilerinin ortaya konulabilmesi için daha fazla gözlemlerle çalışılması gerekmektedir. Benzer şekilde 1.tip hata olasılığının deneme başında düşük seviyelerde ($\alpha=0.01$) belirlenmesi de daha fazla gözlemlerle çalışmayı gerektiren bir başka faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan modele giren bağımsız değişken sayısındaki artışın da beraberinde daha fazla gözlemlerle çalışma zorunluluğunu getirdiğinin görülmesine karşın, bağımsız değişken sayısının örnek hacmine olan etkisi etki büyüklüğü arttıkça azalmıştır. Bu etki, özellikle etki büyüklüğünün 1.00'e yaklaşması durumunda göz ardı edilebilecek düzeylere inmiştir. Kelley ve Maxwell, Maxwell, Algina ve ark, Knofczynski ve Mundfrom yaptıkları çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşmışlardır.^{6,12,27,28} Bununla birlikte çalışmalarda dikkate alınan deneme koşulları, çalışmaların amaçları ve

dikkate alınan simülasyon sayılarının farklı olmasından dolayı söz konusu çalışma bulgularının, tarafımızca yürütülen çalışma bulgularından bir takım farklılıklar da gösterdiği görülmüştür.

Bu çalışma bulgularından hareketle, modele girecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısı için kesin bir görüş ileri sürmenin yanıltıcı olabileceği sonucuna varılmıştır. Çünkü, her bir bağımsız değişken için kaç gözlemin gerekli olduğu, popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ρ) ve dolayısıyla da etki büyüklüğü (f^2) ile oldukça yakından ilişkilidir. Buna karşın dikkate alınan etki büyüklüğünün düşük ($f^2=0.04$), orta ($f^2=0.019$) ve büyük ($f^2=0.56$) olması durumunda %80'lik güç değerini sağlayabilmek için modele girecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayıları yaklaşık olarak 21, 6 ve 3 olarak belirlenmiştir ($\alpha=0.05$ iken). Aynı koşullarda $\alpha=0.01$ olarak kararlaştırılması durumunda ise gerekli olan gözlem sayıları yaklaşık olarak 26, 7 ve 3 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın bulguları her ne kadar bazı yönleriyle, "örnek hacminin bağımsız değişken sayısının en az 5 katı kadar olması gerektiği" şeklinde ifade edilen ve uygulamada pratik bir kural olarak dikkate alınan kural ile, Green tarafından önerilen $N \geq 104 + p$ kuralı ve "modele girecek her bir bağımsız değişken için 15 gözlemin gerekli olduğunu bildiren Stevens bulguları ile benzerlik gösteriyorsa da, genel olarak bu çalışmanın bulguları ile söz konusu araştırmacıların bulguları arasında belirgin farklılıkların olduğu dikkati çekmiştir.^{5,15} Bu da beklenen bir durumdur. Çünkü, gerek bu çalışmalarda dikkate alınan deneme koşullarındaki farklılıklar, gerek çalışmaların amaçlarındaki farklılıklar ve gerekse de denemelerdeki simülasyon sayılarının farklı olması beraberinde farklı bulguları da getirmektedir. Zaten bu konuda yapılan birçok çalışmaya rağmen hala araştırmacılar arasında tam bir fikir birliğine ulaşılmamış olmasının altında yatan en önemli sebeplerden birisi de budur. Bu handikapı bir nebze de olsa gidermek ve dolayısıyla da gerek %80'lik güç değerini sağlayacak minimum örnek hacminin, gerekse de modele dahil edilecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısının belirlenmesine ilişkin genel bir bilgiye ulaşabilmek için, bu amaçlar doğrultusunda yapılmış olan simü-

lasyon çalışmalarının meta analizi ile yeniden değerlendirilmesi bir çözüm yolu olarak düşünülebilir. Ancak şu anda böyle bir çalışmanın (meta analizinin) bulguları mevcut olmadığı için olabildiğince uygulamada karşılaşılabilecek deneme koşulları dikkate alınarak modele giren bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki gerçek etkilerinin test edilmesine imkan verebilecek minimum örnek hacimlerinin belirlenerek, bunların bir tablo halinde araştırmacılara sunulması oldukça yararlı olacaktır. Bu noktadan hareketle yürütülmüş olan bu çalışmada araştırmacılara $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.01$ için popülasyona ilişkin korelasyon katsayısının en düşük ve en büyük değerleri (dolayısıyla etki büyüklüğünün hemen hemen her değerini kapsayacak şekilde) dikkate alınarak modeldeki bağımsız değişken sayısının en az 2 ve en çok ta 10 olduğu durumlar için %80'lik güç değerini sağlayan minimum örnek hacimlerini içeren iki tablo sunulmuştur. Aynı zamanda bu tablolardan

yararlanılarak modele dahil edilecek her bir bağımsız değişken için gerekli olan gözlem sayısının kaç olabileceği hakkında da pratik bilgiler edinilmiştir.

SONUÇ

Bu çalışmanın bulgularından hareketle: a) Örnek hacminin, modele giren bağımsız değişken sayısından ziyade popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısı (ve dolayısıyla da etki büyüklüğüne) ve deneme başında kararlaştırılan 1.tip hata olasılığından etkilendiği b) Popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısının 0.10-0.30 arasında olması halinde bağımsız değişken sayısındaki artışın beraberinde daha fazla gözlemle çalışma zorunluluğunu da getirdiği ve c) Özellikle popülasyona ilişkin çoklu korelasyon katsayısının 0.60 ve daha yüksek olması durumunda modele girecek her bir yeni bağımsız değişken için gerekli gözlem sayısının 1 ile 5 arasında değiştiği sonuçlarına varmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- Liang KY, Zeger SL. Regression analysis for correlated data. *Annu Rev Public Health* 1993;14:43-68.
- Keskin S, Boysan M, Göktaş İ. [Multivariate Analysis Approach to Relationships Between Perfectionism and Obsessive Compulsive Symptoms]. *Türkiye Klinikleri J Med Sci* 2008;28(3):319-26.
- Zar JH. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall Inc. Simon and Schuster/A Viacom Company; New Jersey: USA: 1999. p.663.
- Brooks GP, Barcikowski RS. A new sample size formula for regression. Paper presented at the meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 412 247) 1994. p.55.
- Stevens J. *Applied multivariate statistics for the social sciences*. In: Hillsdale NJ, ed. 3rd ed. Lawrence Erlbaum Associates; 1999. p.265-90.
- Kelley K, Maxwell SE. Sample size for multiple regression: obtaining regression coefficients that are accurate, not simply significant. *Psychol Methods* 2003;8(3):305-21.
- Dupont WD, Plummer WD. Power and sample size calculations for studies involving linear regression. *Control Clin Trials* 1998;19(6):589-601.
- Adcock CJ. Sample Size Determination. *The Statistician* 1997;46(2): 261-83.
- Eckblad JW. How many samples should be taken? *BioScience* 1991;41 (5): 346-8.
- Mendeş M. How many samples are enough when data are unbalanced?. *Tarım Bilimleri Dergisi* 2005;11(3): 225-8.
- Gatsonis C, Sampson AR. Multiple correlation: Exact power and sample size calculations. *Psychol Bull* 1989;106(3):516-24.
- Maxwell SE. Sample size and multiple regression analysis. *Psychol Methods* 2000; 5(4):434-58.
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, USA, 1988. p.407-44.
- Cohen J, Cohen P, West SG, Aiken LS. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. 3rd ed. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey, USA; 2003. p. 314-28.
- Green SB. How many subjects does it take to do a regression analysis? *Multivariate Behavioral Res* 1991;26(3):499-510.
- Alexander RA, Deshon RP. Effect of error variance heterogeneity on the power of tests for regression slope differences. *Psychological Bull* 1994;115(2): 308-14.
- Stone-Romero EF, Anderson LE. Techniques for detecting moderating effects: Relative statistical power of multiple regression and the comparison of subgroup-based correlation coefficients. *J Applied Psychology* 1994;79: 354-9.
- Mendoza JL, Stafford KL. Confidence intervals, power calculations, and sample size estimation for the squared multiple correlation coefficient under the fixed and random regression models: A computer program and useful Standard tables. *Educational and Psychological Measurement Applied Psychological Measurement* 2001;61:650-67.
- Dunlap WP, Xin X, Myers L. Computing aspects of power for multiple regression. *Behav Res Methods Instrum Comput* 2004;36(4):695-701.
- Kelley K. Sample size planning for the coefficient of variation from the accuracy in parameter estimation approach. *Behav Res Methods* 2007; 39(4):755-66.
- Tabachnick BG, Fidell LS. *Using multivariate statistics*. 3rd ed. New York: HarperCollins; 1996. p.177-220.
- Milton S. A Sample Size Formula for Multiple Regression Studies. *The Public Opinion Quarterly* 1986;50(1):112-8.
- Ferron J, Sentovich C. Statistical power of randomization tests used with multiple-baseline designs. *J Experimental Education* 2002;70(2): 165-78.
- Anonymous, FORTRAN subroutines for Mathematical Applications. *IMSL MATH / LIBRARY*. Vol.1-2. Houston, USA: Visual Numerics, Inc; 1994. p.288-304.
- Mendeş M. [Determining of Suitable Simulation Number: A Monte Carlo Simulation Study]. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2005;11 (1): 12-5.
- Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments*, 6th ed. John Wiley & Sons, Inc. 2004.
- Algina J, Moulder BC, Moser BK. Sample size requirements for accurate estimation of squared semipartial correlation coefficients. *Multivariate Behavioral Res* 2002;37(1):37-57.
- Knofczynski GT, Mundfrom D. Sample sizes when using multiple linear regression for prediction. *Educational and Psychological Measurement* 2008;68 (3): 431-42.