

**FAKTÖRLERDEN BİRİNİN SEVİYELERİNDE TEKRARLANAN
ÖLÇÜM BULUNAN İKİ FAKTÖRLÜ DENEME DÜZENLERİ**

Sıddık KESKİN*

Mehmet MENDEŞ**

ÖZET

Bu çalışmada, iki faktörlü ve faktörlerden biri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenleri tanıtılmıştır. Bu amaçla önce bu tip deneme düzenlerinin avantaj ve dezavantajlarına değinilmiş, daha sonra kullanılacak testlerin ön şartlarından bahsedilmiş ve hesaplama adımları gösterilmiştir. Konunun anlaşılabilmesini kolaylaştırabilmek amacıyla bir de uygulama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekrarlanan ölçüm, periyot, denek

**TWO FACTORS EXPERIMENTS WITH REPEATED MEASUREMENTS
ON ONE FACTOR LEVELS**

ABSTRACT

In this study, two factors experiments with repeated measurements on one factor levels were described. First, it was mentioned that the advantages and disadvantages of this type experimental designs, and then it was talk about that the assumption of tests which have to be used and it was demonstrated calculating step of the test statistics. Finally, an application was presented to facilitate comprehensive of the topic.

Key Words: Repeated measurement, period, test subject

GİRİŞ

Bir çok araştırmada; üzerinde durulan özellik bakımından, aynı deney ünitelerinden farklı zaman periyotlarında veya farklı muamele koşulları altında yapılan iki ya da daha fazla ölçüm değeri arasında bir farklılığın olup olmadığını belirlemek amaçlanmaktadır. Bilindiği üzere; üzerinde durulan özellik bakımından bir popülasyondan rasgele alınan n adet bireye iki farklı muameleğin iki farklı zaman periyodunda uygulanması durumunda ya da n adet bireyden oluşan bir örnekten iki farklı zaman periyodunda ölçüm değerleri elde edilmesi durumunda, muamele ya da periyotların, üzerinde durulan özelliğe farklı etki yapıp yapmadığı eş yapma t-testi (paired t-test) ile değerlendirilir. 3 ve daha fazla periyodun da yine eş yapma t-testi ile değerlendirilebileceği düşünülebilir. Ancak bu durumda; yapılan t testleri, birbirinden bağımsızmış gibi düşünülerek yapıldığı için başlangıçta belirlenen yanılma olasılığı (1.Tip hata) deneme sonunda artar. Ayrıca, yapılacak işlemler de uzar. Bu nedenle, periyot sayısının 2'den fazla olduğu durumlarda adı geçen bu etkilerin, eş yapma t-testinin genelleştirilmiş hali olan tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilmesi önerilir.

Tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği, değişik deneme düzenlerini içermektedir. Ancak bu çalışmada, sadece iki faktörlü ve faktörlerden biri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenleri tanıtılmaya çalışılacaktır. Bu tip deneme düzenlerinde ele

* Araş. Gör., A.Ü., Ziraat Fak., Zootehni Böl., Biyometri ve Genetik ABD, ANKARA

** Araş. Gör., A.Ü., Çankırı Orman Fak., ÇANKIRI

Faktörlerden Birinin Seviyelerinde Tekrarlanan Ölçüm Bulunan İki Faktörlü Deneme Düzenleri

alınan iki faktör vardır. Faktörlerden birisi bağımsız faktör (muamele ya da grup faktörü) olarak, diğeri ise bağımlı faktör (tekrarlanan ölçümleri içeren faktör) olarak adlandırılır. Ancak, bağımlı faktörün seviyeleri her zaman periyot olmayabilir. Örneğin, bağımlı faktörün seviyelerini; bireylerin alt ve üst çene, sağ ve sol yan, ağaçların güneye ve kuzeye bakan dalları gibi deney ünitelerinin farklı bölgeleri oluşturabilir. İki faktörlü ve faktörlerden biri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenlerine ilişkin aşağıdaki örnekler verilebilir. Ateşli hastalarda ateşi düşürdüğüne inanılan 3 ilaç çeşidinin belirli sayıda hastaya verilmeden önceki ve verildikten sonraki adı geçen hastaların vücut sıcaklıklarının ölçülmesi, 4 farklı yemleme şeklinin belirli bir balık türünde 5 haftalık zaman periyodunda canlı ağırlık artışına etkisi, belirli sayıda balığın rasgele alınıp, 3 yemleme grubuna (şekline) ayrılması ve 5 haftalık zaman periyodunda her hafta ölçümlerin alınması, 3 farklı öğretim metodunun herhangi bir dersteki başarı durumu üzerine etkisini araştırmak amacıyla rasgele alınan belirli sayıdaki öğrenciye bu farklı öğretim metodlarının ardışık bir biçimde uygulanması, 3 farklı rasyonla beslenen ineklerde yemleme öncesi ve yemleme sonrası sütlerindeki yüzde yağ miktarı. Bunlar ve bunlara benzer şekilde planlanan deneme düzenlerine ilişkin daha bir çok örnek, farklı alanlardan da verilebilir. Bu gibi durumlarda adı geçen ölçüm değerleri, aynı deney ünitelerinin farklı bölgelerinden veya aynı deney ünitelerinden farklı zaman periyotlarında elde edilmiş oldukları için ölçüm değerleri arasında bir korelasyon (ilişki) vardır. Yani ölçüm değerleri arasında bir bağımlılık söz konusudur. Bu nedenle, bu tip denemelerde varyans analizi tekniğinin ön şartlarından birisi olan "gözlemlerin bağımsızlığı" ön şartı yerine gelmemiş olur. Böylece varyans analizi tekniği değil de, tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği (repeated measurement design) kullanılır. Her ne kadar bu tip denemelerde, bağımsız faktörün seviyelerine ait karşılaştırmalar, her periyot için ayrı ayrı yapılabilirse de, bu durumda muamele x Periyot interaksiyonu (etkileşimi) göz ardı edilir ki, bu da denemeden elde edilebilecek bilginin kalitesinin düşmesine neden olur. Buna ilaveten; bağımsız faktörün her bir seviyesinde yapılan karşılaştırmalarda eğer tekrarlanan ölçüm içeren faktörün seviye sayısı 2'den fazla ise yine tekrarlanan ölçümlü denemeler yapılmalıdır. Eğer bağımsız faktörün seviyeleri ayrı ayrı karşılaştırılır veya tersi yapılırsa, yani bağımsız faktörün her bir seviyesinde bağımlı faktörün seviyeleri karşılaştırılırsa bu durumda denemedeki testler ayrı ayrı yapıldığı için yanılma olasılığı artar. Bu nedenle tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği önerilir.

Tekrarlanan ölçümlü deneme düzenleri özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve bu amaçla birçok istatistik paket programı da (STATISTICA, SPSS, NCSS vb) bu deneme düzenlerinin analizlerini yazılımlarına eklemişlerdir. Bu tip denemelerin yaygın olarak kullanım alanı bulmasının sebepleri ise kısaca şöyle sıralanabilir;

1. Yukarıda da belirtildiği gibi bu tip deneme düzenlerinde aynı deney üniteleri kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı, deneme hatası (aynı muameleye tabi tutulan deney üniteleri arasında deneme sonunda görülen ve tamamen tesadüften ileri geldiği varsayılan farklılık) içerisinden, ele alınan deney üniteleri arasında gözlenen farklılık (varyasyon) çıkarılmış olur. Böylece deneme hatası, sadece deney ünitelerinin farklı periyot veya farklı koşullardaki kendi ölçümleri arasındaki varyasyondan oluşmuş olur ki, bu da deneme hatasını küçültür. Dolayısıyla da ele alınan ya da etkisi araştırılan faktörün etkisinin olup olmadığı daha hassas incelenmiş olur.

2. Bu tip deneme düzenlerinde, üzerinde durulan özellik bakımından her bir deney ünitesi aynı zamanda kendisinin kontrolü olduğu için daha az sayıda deney ünitesi ile denemenin yürütülebilmesi imkanı sağlar. Çünkü bu tip denemelerde aynı deney üniteleri farklı muamelelere tabi tutulur ya da söz konusu muameleler farklı zaman periyotlarında aynı deney ünitelerine uygulanır. Bu durumda denemenin daha az deney ünitesi ile yürütülmesi sağlanır. Böylece özellikle deney ünitesi bulmada zorluk çekilen araştırmalar için bu tip deneme düzenlerinin avantajlı olduğu söylenebilir.

Tekrarlanan ölçümlü denemelerin bu sayılan avantajlarının yanı sıra, bir takım dezavantajları da vardır. Bunlar;

1. Bu tip denemelerde ölçüm yapılan deney üniteleri aynı deney üniteleridir. Dolayısıyla bu deney ünitelerine bir önceki periyotta uygulanan muamelenin etkisi tam geçmeden bir sonraki periyotta başka bir muamele uygulandığı zaman, ikinci muamelenin etkisine birinci muamelenin etkisi de karışabilir. Bu karışan etki, taşıyıcı etki (carry-over effect) olarak adlandırılır. Diğer bir ifade ile bu etki türü, aynı deney ünitelerine ardışık periyotlarda farklı muamelelerin uygulanması sonucu ortaya çıkan bir etki türüdür.

2. Ardışık periyotlarda aynı deney ünitelerine uygulanan farklı muamelelerin birbirleri ile etkileşimi olarak adlandırılan gizli etki (latent effect) türü ortaya çıkabilir.

Bu sayılan hususların dışında, yine tekrarlanan ölçümlü denemelerde göz önüne alınması gereken bir diğer konu ise tekrarlanan ölçümler arasındaki korelasyonlardır. Bu nedenle bu tip denemelerin analiz edilmesinde, varyansların homojenliğinden başka, bir de hataların bağımlı olmasından ileri gelen kovaryansın da homojen olması gerekir. Eğer bu ön şart sağlanamıyorsa, bu durumda hesaplanacak F istatistiği ile yapılacak tahminler yanlış olur ve bu yanlışlığı giderilemek için F istatistiğinin pay ve paydasında yer alan kareler ortalamalarına ait serbestlik derecelerinde bir düzeltme yapılarak, F tablo değeri düzeltilmiş serbestlik derecelerine göre yeniden bulunur ve hipotez kontrolünde bu değer kullanılır.

Yukarıda sıralanan bu etkiler, üzerinde durulan özellik bakımından aynı deney ünitelerine uygulanacak muamelelerin uygun bir şekilde ve eşit zaman periyotlarında uygulanması ya da uygulanacak muamelelerin sırası belirlenirken, bunların tamamen rasgele olarak belirlenmesi ile giderilebilir. Diğer yandan, Laster and Pickands, (1993)' in bildirdiklerine göre adı geçen muamelelerin uygulanacakları zaman periyotlarının ise bizzat denemeyi yapan kişi tarafından belirlenmesi gerekir (Çamdeviren 1995).

Tekrarlanan ölçümlü denemelerin analiz edilmesinde tek değişkenli (univariate) ve çok değişkenli (multivariate) test istatistikleri kullanılabilir. Ancak bu iki test istatistiklerinden hangisinin kullanılacağı, bazı varsayımların yerine gelip gelmemesine ve elde edilen sonuçların nasıl yorumlanacağına göre değişir.

Bu çalışmada, iki faktörlü ve faktörlerden birisi üzerinde tekrarlanan ölçümler bulunan deneme düzenlerinin tanıtımı, analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan ön şartlar, tek değişkenli test istatistiği ile çözümü ve elde edilen sonuçların yorumlanması üzerinde durulmuştur.

MATERYAL VE METOD

Çalışmada uygulama materyali olarak; A.Ü. Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı tarafından Bölümü işletmesinde yürütülmüş olan

Faktörlerden Birinin Seviyelerinde Tekrarlanan Ölçüm Bulunan İki Faktörlü Deneme Düzenleri

bir denemeden elde edilen verilerin bir bölümü kullanılmıştır. Çalışmada, aynı doğum mevsiminde doğmuş sütten kesim çağındaki 15 adet akkeçi oğlağı, rasgele 3 gruba ayrılmış ve 3 yetim karması (rasyon) çeşidi ile 3 aylık besleye alınmıştır. Bu süre boyunca 15 günlük aralıklarla tartım yapılmış ve tartım sonuçları kaydedilmiştir. Bu değerlerden hesaplanan canlı ağırlık artışı (kg) değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Canlı Ağırlık Artışı Değerleri

Rasyonlar	Hayvanlar	Periyotlar (Dönemler)		
		1. periyot	2. periyot	3. periyot
1. Rasyon	1	4.5	4.0	1.0
	2	3.0	4.0	1.0
	3	5.0	1.2	1.0
	4	2.5	2.0	1.5
	5	4.7	3.0	1.0
2. Rasyon	1	1.2	4.3	1.4
	2	0.2	2.2	1.5
	3	0.2	3.8	2.0
	4	1.0	1.0	1.0
	5	3.2	0.9	1.2
3. Rasyon	1	1.6	1.0	0.9
	2	0.8	1.0	0.5
	3	0.6	2.0	1.0
	4	1.0	1.2	0.9
	5	0.7	1.0	0.8

Tekrarlanan ölçümlü denemelerden elde edilen ölçüm değerlerinin, Tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniği ile değerlendirilebilmesi için bazı ön şartlar mevcut olup, bu ön şartlar daha çok üzerinde durulan özellik bakımından elde edilen verilere ilişkin kovaryans matrisi ile ilgilidir. Bu ön şartlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Elde edilen verilerin çok değişkenli normal dağılım göstermesi

2. Tekrarlanan ölçümün yapıldığı faktörün seviyelerine ait kovaryans matrisinin tam simetriklik (Compound symmetric) veya küresellik (Sphericity ya da Circularity) ön şartlarını sağlaması gerekir. Tekrarlanan ölçüm içeren denemelerde aynı deney ünitesinden elde edilen gözlem çiftleri arasında genellikle bir korelasyon söz konusudur. Tam simetriklik ön şartı, bu gözlem çiftleri arasındaki korelasyon katsayılarının homojen olmasını gerektirir. Bu ön şart, kısaca $\Sigma = \sigma^2 I$ ile ifade edilmektedir. Küresellik ön şartı ise tekrarlanan ölçüm içeren faktörün ardışık seviyeleri arasında elde edilen farklara ilişkin varyansların homojen olması şeklinde ifade edilir. Bu ön şart geçerli ise kovaryans matrisi $\Sigma = \sigma^2 I$ yapısında olur. Bu ön şart, simetriklik ön şartının özel bir halidir. Eğer $\Sigma = \sigma^2 I$ ise kovaryanslar sıfır olacağından matris tam simetrik olur. Kovaryans matrisinin küresellik testi, Mauchly tarafından geliştirilmiş aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$W = \frac{(p-1)^{(p-1)} |CSC'|}{(\text{tr} CSC')^{(p-1)}} \quad (1)$$

Bu istatistiğin yaklaşık dağılımı; $[p(p-1)/2]-1$ serbestlik dereceli χ^2 dağılımıdır ve bu istatistiğe ait χ^2 değeri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanır.

$$\chi^2 = - \left[\frac{v - 2p^2 - 3p + 3}{6(p-1)} \right] \ln W \quad (v = n-1) \quad (2)$$

(1) no' lu eşitlikte; p; periyot sayısı, S; kovaryans matrisinin örnekten tahmini ve C ise $(p-1) \times p$ boyutlu ve $(p-1)$ tane ortalamalar arasındaki bağımsız (orthogonal) kontrastları içeren normalize edilmiş (orthonormal) bir matristir. C matrisinin bulunması için önce bağımlı gözlem içeren faktörün seviye sayısı kadar (p) ortogonal kontrast oluşturulur. 3 periyot olduğu durumda ortogonal kontrastlar Tablo 2' deki gibi olur.

Tablo 2. 3 Periyot Olduğu Durum İçin Kontrast Katsayıları

	Kontrast ₁	Kontrast ₂
Periyot ₁	1	1
Periyot ₂	-1	1
Periyot ₃	0	-2

Daha sonra bu matrisin normalize edilebilmesi için her bir kontrast içinde yer alan katsayıların kareleri toplamı ayrı ayrı hesaplanır. Tablo 2' de tanımlanan 1. kontrast için kareler toplamı, $(1)^2 + (-1)^2 + 0^2 = 2$ olur. 2. kontrast için de benzer hesaplama yapıldıktan sonra her bir kontrast içinde yer alan her bir katsayı, kareler toplamının kareköküne bölünerek normalize edilmiş katsayılar elde edilir.

Bu varsayımların geçerli olmadığı durumlarda, tekrarlanan ölçümlere ait varyans ve kovaryansların bir fonksiyonu olan bir düzeltme terimi kullanılır. Bu terime ilişkin hesaplamalar Crowder ve Hand (1990) tarafından ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır (Çamdeviren 1995). Düzeltme terimi, F testlerinin serbestlik derecelerini azaltarak, I. tip hata yapma olasılığının sınır değerinde kalmasını sağlar. Bu terimin elde edilmesinde iki yaygın kriter kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi Greenhouse ve Geisser (1959) tarafından önerilen kriter, ikincisi ise Huynh ve Feldt (1970) tarafından önerilen kriterdir (Gürbüz ve ark. 1999). Bu kriterler, F tablo değerinin serbestlik dereceleri ile çarpılır ve böylece tablo değeri büyütülmüş olur. Bu da II. tip hata yapma olasılığını azaltılır.

Bu kriterlerden Greenhouse ve Geisser kriteri;

$$\hat{\epsilon} = \frac{p^2 (\bar{s}_{ii} - \bar{s}_{..})^2}{(p-1) (\sum \sum s_{ij}^2 - 2p \sum \bar{s}_i^2 + p^2 \bar{s}_{..}^2)} \quad (3)$$

olarak ve Huynh ve Feldt kriteri;

$$\text{Huynh ve Feldt kriteri} = [n(p-1)\hat{\epsilon}] - \frac{2}{(p-1)[n-k-(p-1)\hat{\epsilon}]} \quad (4)$$

Faktörlerden Birinin Seviyelerinde Tekrarlanan Ölçüm Bulunan İki Faktörlü Deneme Düzenleri

olarak tanımlanır. (3) ve (4) no 'lu eşitliklerde;

p : periyot sayısını,

\bar{s}_{ii} : kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının ortalamasını

$\bar{E}_{..}$: kovaryans matrisinin bütün elemanlarının ortalamasını

s_{ij}^2 : matrisin bütün elemanlarının karelerini

\bar{E}_l^2 : matrisin l . satır elemanlarının ortalamasının karesini göstermektedir.

p ; periyot (denekler içi faktör), k ; grup (denekler arası faktör) ve n ; deney ünitesi sayısını göstermektedir. $\hat{\delta}$ kriterinin alt sınırı $1/(p-1)$ ' dir. Serbestlik dereceleri alt sınır değeri ile çarpıldığı zaman tutucu F testi elde edilmiş olur. Küresellik tam sağlandığı durumda ise $\hat{\delta} = 1$ ' dir.

İki faktörlü ve faktörlerden birinin seviyeleri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenlerine ilişkin genel deneme planı Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. İki Faktörlü ve Faktörlerden Birinin Seviyeleri Tekrarlanan Ölçüm İçeren Deneme Düzenlerine İlişkin Deneme Planı

Faktör I	Faktör II (Periyotlar)			
	Bireyler	p_1	p_2	p_3
A_1	1	y_{111}	y_{121}	y_{131}
	2	y_{112}	y_{122}	y_{132}

	n_1	y_{11n1}	y_{12n1}	y_{13n1}
A_2	1	y_{211}	y_{221}	y_{231}
	2	y_{212}	y_{222}	y_{232}

	n_2	y_{21n2}	y_{22n2}	y_{23n2}

İki faktörlü ve faktörlerden biri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenlerine ilişkin doğrusal model:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_{k(i)} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \beta\gamma_{jk(i)} + \epsilon_{m(ijk)} \quad (5)$$

eşitliği ile verilir. (5) no'lu eşitlikte: Y_{ijk} ; i . gruptaki ya da i . muamele koşulu altındaki j . periyottaki k . bireyin ölçüm değeri, μ ; genel populasyon ortalaması, α_i ; A faktörünün i . seviyesinin etkisi, $\gamma_{k(i)}$; A faktörünün i . seviyesinde bulunan k . deney ünitesinin rasgele etkisi ($\text{Hata} - 1$), $\alpha\beta_{ij}$; A ve B (periyot) faktörleri arasındaki interaksiyon

etkisi, $\beta_{jk(i)}$; A faktörünün i. seviyesinde, B faktörü ile deney ünitesi arasındaki interaksiyon etkisi, ve $\varepsilon_{m(ijk)}$ ise hata (Hata -2) terimidir.

(3) no' lu model taşıyıcı etki içermemektedir. Taşıyıcı etki olmadığı durumlarda, bu deneme düzeni bölünmüş parseller deneme düzenine benzer. Bu tip deneme düzenlerinde, uygulanma şekillerine bağlı olarak faktörlerden birisi denekler (deney üniteleri) arası faktör, diğeri de denekler içi faktördür. Denekler arası faktörün her bir seviyesindeki ölçüm değerleri farklı bireylere ait iken, denekler içi faktörün her bir seviyesinde yer alan ölçüm değerleri aynı bireylere aittir. Hem denekler arası faktör olarak adlandırılan bağımsız grup faktörünün hem de tekrarlanan ölçümler içeren ve denekler içi faktör olarak adlandırılan bağımlı faktörün seviyeleri özel (fixed) seçimlidir. Buna karşın yine birer faktör olarak değerlendirilen denekler ise üzerinde durulan özellik bakımından söz konusu popülasyondan rasgele alındıklarından, bunların etkileri rasgele (random) olup, her bir denekten farklı deney şartlarında ölçümler alındığından dolayı birer blok görünümündedirler. Dolayısıyla böyle bir model, özel seçimli ve rasgele seçimli faktörleri birlikte içereceğinden karışık (mixed) model olarak adlandırılır. Bu modele göre kurulan denemelerde yer alan faktörlerin etkilerinin test edilebilmesi için de farklı hata terimlerinin kullanılması gerekir. Çünkü farklı etkilere sahip faktörlerin kareler ortalamalarının beklenen değerleri de $E(KO)$ farklıdır. Bu durumda eğer tek bir hata terimi kullanılacak olursa, hesaplanacak test istatistiklerinin tahminleri yanlış olur.

İki faktörlü ve faktörlerden biri tekrarlanan ölçüm içeren deneme düzenlerinin analiz edilmesinde aşağıdaki adımlar izlenir.

$$\text{Bir periyottaki toplam gözlem sayısı} : n = \sum_{i=1}^k n_i$$

$$\text{Denemedeki toplam gözlem sayısı} : N = pn = p \sum_{i=1}^k n_i \text{ olmak üzere:}$$

$$\text{Düzeltilme Terimi (DT)} = \frac{(y_{...})^2}{N}$$

$$\text{Genel Kareler Toplamı: (GKT)} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p \sum_{m=1}^n y_{ijm}^2 - DT$$

Denekler arası kareler toplamı:

$$(\text{DAKT}) = \frac{y_{1.1}^2}{p} + \frac{y_{1.2}^2}{p} + \dots + \frac{y_{k.n}^2}{p} - DT$$

A' lar arası kareler toplamı:

Faktörlerden Birinin Seviyelerinde Tekrarlanan Ölçüm Bulunan İki Faktörlü Deneme Düzenleri.

$$(AAKT) = \frac{y_{1..}^2}{n_1p} + \frac{y_{2..}^2}{n_2p} + \dots + \frac{y_{k..}^2}{n_kp} - DT;$$

Hata₁ kareler toplamı

$$(HKT_1) = \left(\frac{y_{1.1}^2}{p} + \frac{y_{1.2}^2}{p} + \dots + \frac{y_{k.n}^2}{p} \right) - \left(\frac{y_{1..}^2}{n_1p} + \frac{y_{2..}^2}{n_2p} + \dots + \frac{y_{k..}^2}{n_kp} \right)$$

Denekler içi kareler toplamı:

$$(DİKT) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p \sum_{m=1}^n y_{ijm}^2 - \left(\frac{y_{1.1}^2}{p} + \frac{y_{1.2}^2}{p} + \dots + \frac{y_{k.n}^2}{p} \right) \text{ Yani};$$

DİKT = GKT - DAKT ve Periyotlar arası kareler toplamı:

$$PAKT = \left(\frac{y_{.1.}^2}{nk} + \frac{y_{.2.}^2}{nk} + \dots + \frac{y_{.p.}^2}{nk} \right) - DT \text{ eşitlikleri ile hesaplanır.}$$

Tablo 4. A Ve P Faktörlerine İlişkin Alt Grup Toplamları

	β_1	β_2	β_n
a_1	$y_{11.}$	$y_{12.}$	$y_{1p.}$
a_2	$y_{21.}$	$y_{22.}$	$y_{2p.}$
\vdots			
a_k	$y_{k1.}$	$y_{k2.}$	$y_{kp.}$

İnteraksiyon kareler toplamı (A x P), alt gruplar arası yani muamele kombinasyonları arası kareler toplamından, denemedeki faktörlere ilişkin kareler toplamları çıkarılarak bulunur. Tablo 4' üe A ve B faktörlerine ilişkin alt grup toplamları verilmiş olup alt gruplar arası kareler toplamı bu tablo yardımı ile kolayca hesaplanabilir.

Tablo 4' de yer alan $y_{ij.}$ iki faktörün her bir seviyesindeki alt grup toplamlarını göstermektedir. Buradan alt gruplar arası kareler toplamı (AGAKT);

$$AGAKT = \left(\frac{y_{11.}^2}{n_1} + \frac{y_{12.}^2}{n_1} + \dots + \frac{y_{kp.}^2}{n_k} \right) - DT \text{ eşitliği yardımıyla hesaplanır. Daha}$$

sonra

İnteraksiyon kareler toplamı (İKT); İKT = Alt GAKT - (AKT + PAKT) eşitliği ile bulunur. Hata₂ kareler toplamı (HKT₂) ise; HKT₂ = DİKT - (PAKT + İKT) eşitliğinden elde edilir.

Hesaplanan bu varyasyon kaynaklarına ilişkin varyans analizi tablosu Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. İki Faktörlü Ve Faktörlerden Birinin Seviyeleri Tekrarlanan Ölçüm İçeren Deneme Düzenlerine İlişkin Varyans Analizi Tablosu

V.K.	S.S.	E(K.O.)
Denekler Arası	nk-1	
A	k-1	$\sigma_{\alpha}^2[1+(p-1)\rho] + p\sigma_{\gamma}^2 + n\rho\sigma_{\alpha}^2$
Aynı Gruptaki Denekler Arası (Hata 1)	k(n-1)	$\sigma_{\epsilon}^2 + [1+(p-1)\rho] + p\sigma_{\gamma}^2$
Denekler İçi	nk(p-1)	$\sigma_{\beta}^2(1-\rho) + \sigma_{\beta\gamma}^2 + nk\sigma_{\beta}^2$
B	(p-1)	$\sigma_{\beta}^2(1-\rho) + \sigma_{\beta\gamma}^2 + n\sigma_{\alpha\beta}^2$
AB	(k-1)(p-1)	$\sigma_{\beta}^2(1-\rho) + \sigma_{\beta\gamma}^2$
B x Hata 1(Hata 2)	k(n-1)(p-1)	σ_{ϵ}^2

Tekrarlanan ölçüm içeren faktörün, seviyelerinin ortalamaları arasındaki farkın tesadüften ileri geldiğine dair kurulan H_0 hipotezinin ret edilmesi halinde, farklı olan periyot ortalamalarını belirlemek amacıyla Tukey testi, Bonferroni çoklu bağlantılı t-testleri ve Sidak testi yaygın olarak kullanılan çoklu karşılaştırma metodlarıdır. Bu çalışmada bağımsız faktör ve tekrarlanan ölçüm içeren faktörün seviyelerini karşılaştırmada Tukey Testi kullanılmıştır. Ayrıca, gerekli olan bütün hesaplamalar, SPSS (ver: 10.0) istatistik paket programında yapılmıştır.

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bağımlı ve bağımsız faktörün üç seviyesine ait tanıttıcı istatistikler Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Tanıttıcı İstatistikler

	Grup	Ortalama	Standart hata	N
PERİYOT1	1	3.940	0.499	5
	2	1.160	0.549	5
	3	0.940	0.178	5
	Periyot 1	2.013	0.434	15
PERİYOT2	1	2.840	0.553	5
	2	2.440	0.700	5
	3	1.240	0.194	5
	Periyot 2	2.173	0.335	15
PERİYOT3	1	1.100	0.010	5
	2	1.420	0.169	5
	3	0.820	0.086	5
	Periyot 3	1.113	0.093	15

Elde edilen verilere ait kovaryans matrisinin küresellik ön şartını sağlayıp sağlamadığına ilişkin test istatistiği (1) ve (2) no'lu eşitlikler yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 7. Küresellik Testi Sonuçları

Mauchly W değeri	χ^2 değeri	S.D.	P
0.549	6.994	2	0.037

Tablo 7. incelendiğinde denemeden elde edilen verilere ilişkin kovaryans matrisinin küresel olmadığı sonucuna varılır. Bu sonuca göre belirtilen ön şart yerine gelmediği için düzeltilmiş F değeri kullanılır. Bu düzeltilmiş değerlere ve küresellik ön şartı yerine gelmiş olduğu duruma göre elde edilen varyans analizi tablosu Tablo 8'de verilmiştir. Eğer küresellik ön şartı yerine gelmiş olsaydı varyans analizi tablosunu Tablo 9'daki gibi özelleştirmek mümkün olurdu. Tablo 8 incelendiğinde; grup x periyot interaksyonunun önemli olduğu ve bu sonuca göre hayvanların canlı ağırlık artışlarında periyotlar arasındaki farklılığın her üç grupta da aynı kalmadığı, diğer bir ifade ile gruplar arasında var olan farklılığın periyotlar boyunca aynı kalmadığı söylenebilir. Bu sonuçlara göre hangi periyotta canlı ağırlık artışının yüksek olduğuna karar vermek için her grupta ayrı ayrı karşılaştırma yapmanın gerekli olduğu, benzer şekilde, hangi grupta canlı ağırlık artışının yüksek olduğuna karar vermede her periyotta ayrı ayrı karşılaştırma yapmanın gerekli olduğu görülür.

Tablo 8. Varyans Analizi Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Ser. derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F	P	
Periyot	Küresellik geçerli iken	2	9.796	4.898	5.103	0.0140
	Greenhouse-Geisser düzeltmesi	1.378	9.796	7.107	5.103	0.0280
	Huynh-Feldt düzeltmesi	1.758	9.796	5.571	5.103	0.0190
	Alt sınır	1.000	9.796	9.796	5.103	0.0430
	Küresellik geçerli iken	4	15.755	3.939	4.103	0.0110
Periyot x Hata	Greenhouse-Geisser düzeltmesi	2.757	15.755	5.715	4.103	0.0260
	Huynh-Feldt düzeltmesi	3.517	15.755	4.480	4.103	0.0160
	Alt sınır	2.000	15.755	7.877	4.103	0.0440
	Küresellik geçerli iken	24	23.036	.960		
Hata	Greenhouse-Geisser düzeltmesi	16.541	23.036	1.393		
	Huynh-Feldt düzeltmesi	21.100	23.036	1.092		
	Alt sınır	12.000	23.036	1.920		

Canlı ağırlık artışı bakımından hangi gruplar arasında fark olduğuna ve bu farkın her üç periyotta nasıl olduğuna ilişkin sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde; 1. periyotta gruplardan 1-2 farkı ve 1-3 farkı istatistik olarak önemli bulunmuşken, ($p < 0.01$) 2-3 farkı önemli bulunmamıştır. 2. ve 3. Periyotta ise canlı ağırlık artışı bakımından gruplar arasındaki fark önemli değildir.

Tablo 9. Varyans Analizi Tablosu (Özet)

V.K.	SD	KT	KO	F	P
Hayvanlar Arası	14				
Rasyonlar	2	20.040	10.020	19.420	0.00
Hata 1	12	6.190	0.516		
Hayvanlar İçi	30				
Periyot	2	9.790	4.895	10.190	0.00
RasyonxPeriyot	4	15.762	3.940	4.100	0.00
Hata 2	24	23.038	0.960		
Genel	44	74.820			

Tablo 10. Gruplara Alt Karşılaştırma Sonuçları

Bağımlı değişken	(I) GRUP	(J) GRUP	Ortalamalar arası fark (I-J)
PERİYOT1	1	2	2.780**
		3	3.000**
	2	3	0.220
PERİYOT2	1	2	0.400
		3	1.600
	2	3	1.200
PERİYOT3	1	2	-0.320
		3	0.280
	2	3	0.600

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

Her grup için periyotlara ait karşılaştırma sonuçları ise Tablo 11'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre sadece 1. grupta 1. periyot ile 2. periyot arasındaki farkın istatistik olarak önemli olduğu, ($p < 0.01$) olduğu görülmüştür.

Tablo 11. Periyotlara Alt Karşılaştırma Sonuçları

Gruplar	(I) periyot	(J) periyot	Ortalamalar arası fark (I-J)
GRUP1	1	2	1.100
		3	2.740**
	2	3	1.740
GRUP2	1	2	-1.280
		3	-0.260
	2	3	1.020
GRUP3	1	2	-0.300
		3	-0.120
	2	3	0.420

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

Tekrarlanan ölçümlü denemelerde, tekrarlanan ölçüm içeren ve bağımlı faktör olan periyotlar arasında fark olup olmadığı ikişer ikişer eş yapma t testi ile değerlendirilebilir.

Faktörlerden Birinin Seviyelerinde Tekrarlanan Ölçüm Bulunan İki Faktörlü Deneme Düzenleri

Ancak bu durumda; örneğin başlangıçta kararlaştırılan 1. tip hata yapma olasılığı 0.05 ($\alpha = 0.05$) alındığında, bu olasılık 3 adet karşılaştırma için $1 - (0.95 \times 0.95 \times 0.95) = 0.1426$ ' ya çıkacaktır. Bu nedenle tekrarlanan ölçümlü varyans analizi tekniğinin kullanılması önerilebilir. Bunun yanı sıra gruplar arasında bir farklılığın olup olmadığı ve eğer bir farklılık var ise bu farklılığın periyottan periyoda değişip değişmediği ancak Tekrarlanan Ölçümlü varyans analizi tekniği ile belirlenebilir. Deney ünitesi sayısı yetersiz olan veya yeterli deney ünitesi bulmada sıkıntı çekilen denemelerde; üzerinde durulan faktörlere ilişkin daha hassas bilgi edinmek amacıyla tekrarlanan ölçümlü deneme düzenleri önerilir.

KAYNAKLAR

- Çamdeviren, H. 1995. Tekrarlanan Ölçümlü Deneme Düzenleri, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bil. Ens. (Basılmamış).
- Edwards, A.L. 1979. Multiple Regression and the Analysis of Variance and Covariance. W.H.Freeman and Company. New York. 117-129 p, USA.
- Gürbüz, F., Ögüt, E., Çamdeviren, H., Kanik, B.A. ve Tekindal, B., 1999, Tek Faktörlü Tekrarlanan Ölçümlü Deneme Düzeni, 4. Ulusal Biyoistatistik Kongresi 23-24 Eylül 1999, Ankara
- Neter, J., Kutner M.H., Nachtsheim C.J., ve Wasserman, W., 1996. Applied Linear Statistical Models. Fourth Edition. The McGraw-Hill Companies, Inc. 1184-1194 p, USA.
- Sokal, R.R. ve Rohlf F.J., 1995. Biometry W.H.Freeman and Company. 887 p New York. USA.
- Winer, B.J., 1971. Statistical Principles in Experimental Design, McGraw- Hill Book Company, New York, 907 p, USA.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth Edition Simon & Schuster/A Viacom Company., New Jersey. 288-299 p, USA.