

Kantitatif değişkenlerde ortogonal polinomiyal karşılaştırmalar: Tarımsal verilerde uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi

Orthogonal polynomial comparisons in quantitative variables: Application in agricultural data and evaluation of results

Çiğdem TAKMA¹ , Hatice HIZLI² 

¹Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye.

²Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana, Türkiye.

ARTICLE INFO	ÖZET
<p>Article history: Recieved / Geliş: 05.06.2023 Accepted / Kabul: 14.09.2023</p> <p>Anahtar Kelimeler: Varyans analizi (ANOVA) Polinomiyal kontrast katsayıları Ortogonal polinomiyal karşılaştırmalar Trend analizi</p> <p>Keywords: Analysis of variance (ANOVA) Polynomial contrast coefficients Orthogonal polynomial comparisons Trend analysis</p> <p>✉Corresponding author/Sorumlu yazar: Hatice HIZLI hatice.hizlibostan@tarim.orman.gov.tr</p> <p>Makale Uluslararası Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 Lisansı kapsamında yayınlanmaktadır. Bu, orijinal makaleye uygun şekilde atıf yapılması şartıyla, eserin herhangi bir ortam veya formatta kopyalanmasını ve dağıtılmasını sağlar. Ancak, eserler ticari amaçlar için kullanılamaz. © Copyright 2022 by Mustafa Kemal University. Available on-line at https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkutbd</p> <p>This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.</p> <p> </p>	<p>Varyans analizi ile denemelerdeki muamele ortalamaları arası farklılık belirlendikten sonra, farklılığa neden olan grup ortalaması ya da ortalamalarını tespit etmek için "Çoklu Karşılaştırma Testleri" ya da "Ortogonal Parçalama" yöntemleri uygulanır. Çoklu karşılaştırma testleri sadece muamele ortalamalarındaki farklılığı belirlemekte, belirli bir eğime göre hangi uygulamanın daha etkin olduğu kararını vermemektedir. Bu durum araştırmalarda kullanılması gereken uygulama seviyeleri için yanlış kararların verilmesine yol açmaktadır. Kantitatif özellikteki muamele uygulamalarının verimde meydana getirdiği etkinin eğimi lineer, kuadratik, kübik vb. ortogonal polinomlar ile incelenerek faktör etkileri daha doğru bir şekilde tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, tarımsal verilerde en sık kullanılan deneme planlarında ortogonal polinomiyal parçalama yöntemlerinin nasıl yapılacağı ve karşılaştırma sonuçlarının nasıl yorumlanacağı tartışılmıştır. Uygulamada sıklıkla yapılan hatalara dikkat çekilerek, yanıltıcı sonuçlara neden olabilecek olasılıklar incelenmiştir.</p> <p>ABSTRACT</p> <p>By determining the difference between the treatment means in the trials by analysis of variance, "Multiple Comparison Tests" or "Orthogonal Partitioning" methods are applied to determine the group mean or means that cause the difference. Multiple comparison tests only determine the difference in treatment averages and do not decide which treatment is more effective according to a certain slope. This leads to incorrect judgments about the levels of treatment that should be used in research. The slope of the effect of quantitative treatments on yield can be analyzed with orthogonal polynomials such as linear, quadratic, cubic, etc., and factor effects can be defined more accurately. This study discusses how to perform orthogonal polynomial partitioning methods in the most frequently used trial plans in agricultural data and how to interpret the comparison results. Frequently made mistakes in practice are pointed out and the possibilities that may cause misleading results are analyzed.</p>
<p>Cite/Atıf</p>	<p>Takma, Ç., & Hızlı, H. (2023). Kantitatif değişkenlerde ortogonal polinomiyal karşılaştırmalar: Tarımsal verilerde uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi. <i>Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi</i>, 28 (3), 683-693. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1309958</p>

GİRİŞ

Varyans analizi (Analysis of Variance, ANOVA), sürekli bir bağımlı değişkene etkisi olduğu düşünülen katagorik bağımsız değişkenin veya değişkenlerin iki veya daha fazla seviyesine ait ölçümleri karşılaştırarak farklılıkları inceleyen bir istatistiksel yöntemdir (Düzgüneş ve ark., 1987; Howell, 2010). Bu nedenle varyans analizi, araştırmalarda yer alan değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek ve en fazla etkiye sahip değişken ya da değişkenleri belirlemek amacıyla sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Eisenhart, 1947; İkiz ve ark., 2012). Genel olarak varyans analizi, gruplar arasında bir farklılık olup olmadığını gösterirken, bu farklılığın hangi grup ya da gruplardan ileri geldiği bilgisini vermemektedir. Gruplar arası farklılıkların belirlenmesi amacıyla geliştirilen “Çoklu Karşılaştırma Testleri” ya da “Ortogonal Parçalama” yöntemleri kullanılmaktadır.

Çoklu karşılaştırma testlerinin seçiminde varyans analizinin bağımsızlık, homojenlik ve normal normal dağılış varsayımlarının sağlanması, karşılaştırılacak grupların sayısı ve grup hacimlerinin eşit olup olmaması dikkate alınmalıdır. Bu nedenlerle, hangi çoklu karşılaştırma testinin kullanılacağına karar verilmesi kolay bir işlem değildir (Barnett ve ark., 2022).

Öte yandan, gruplar arası farklılıkları belirlemek için “Çoklu Karşılaştırma” ya da “Ortogonal Parçalama” yöntemleri seçiminde, ANOVA sonucunun önemli olup olmaması veyahut bağımlı değişken üzerine etkisi incelenen bağımsız değişkenin alt seviyelerinin kalitatif veya kantitatif nitelikte olmasına göre kullanılacak yöntemler değişmektedir (Açıkgöz & Açıkgöz, 2001). ANOVA ile hesaplanan F testi sonucuna göre:

1. F'nin önemli, faktör seviyelerinin kalitatif nitelikte (çeşit gibi) olması durumunda, değerlendirmeye koşullara bağlı olarak Asgari Önemli Fark (AÖF, LSD), Duncan, Tukey, Newman-Keuls testleriyle devam edilir.
2. F'nin önemli, faktör seviyelerinin kantitatif nitelik olması durumunda örneğin “10 kg da⁻¹, 15 kg da⁻¹, 20 kg da⁻¹ gibi” gibi seviyeler söz konusu ise; değerlendirmeye doğrusal (linear), karesel (kuadratik) ve kübik gibi ikili ilişkilerin test edildiği “ortogonal polinomiyal karşılaştırmalarla” devam edilir ve bunların önemliliklerine göre yorumlamalar yapılır.
3. F'nin önemsiz, seviyelerin kalitatif niteliğinde olması durumunda, uygun muamele kombinasyonlarına göre ortogonal karşılaştırma yapılarak yoruma geçilir. Böylece bazı seviyelerin (örneğin standardın) önemli çıkma olasılığı göz ardı edilmemiş olunur.
4. F'nin önemsiz, seviyelerin doz niteliğinde olması durumunda ortogonal parçalama yolu ile uygulama seviyelerinin “doğrusal (birinci dereceden, linear)”, “karesel (ikinci dereceden, kuadratik)” vs. etkileri test edilerek yorumlamalar yapılır. Bu durumda, uygulama seviyeleri arası artışın eşit olup-olmaması hesaplamalar bakımından önem taşımaktadır.

Tarımsal verilerle yapılan çalışmalarda yaygın olarak doz (gübre, ilaç, hormon), sulama miktarı ve ekim zamanı gibi kantitatif faktörün ölçümü yapılan verim üzerine etki şeklini belirlemek amacıyla ortogonal parçalama yapılmaktadır (Çelik ve ark., 2015; Efe & Çanga 2017; Olgun ve ark., 2012).

Bu çalışmada, kantitatif niteliğe sahip bağımsız değişkenlerin alt seviyelerinin karşılaştırılmasında kullanılan ortogonal parçalama işlemi tanıtılmıştır. Kantitatif bağımsız değişkenlerin eşit ve eşit olmayan aralıklı alt seviyeleri için kullanılması gereken polinomiyal katsayılar, bu katsayıların hesaplanma basamakları, ilgili katsayılarla ortogonal karşılaştırmaların nasıl yapılacağı ve yorumlanacağı farklı örnek denemeler üzerinde açıklanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada, kantitatif niteliğe sahip bağımsız değişkenlerin eşit ve eşit olmayan aralıklı alt seviyelerinin karşılaştırılmasında kullanılması gereken polinomiyal katsayılar ve ortogonal parçalama işlemleri 4 farklı örnek denemeye ait hipotetik veri setleri üzerinde hesaplanmıştır.

Yöntem

Eşit aralıklı kantitatif uygulamalarda ortogonal polinomiyal karşılaştırmalar

Denemelerde uygulanan muamele etkilerinin inceleme konusu değişkenlere göre farklılıkları Duncan, AÖF ve TUKEY gibi çoklu karşılaştırma testleri ile belirlenirken, bu karşılaştırmalar söz konusu etkilerin hangi muamele değerinde arttığı ve/veya hangisinde azaldığı yönünde önemli bilgiler vermemektedir. Bu nedenle kantitatif nitelikli muamele gruplarının karşılaştırılmasında, uygulama seviyelerine göre ölçülen verimlerin eğilimlerinin (trend) ortogonal polinomlarla analiz edilmesi uygundur.

Ortogonal polinom katsayıları, muamele seviyeleri arası uzaklıkların eşit olup olmamasına göre belirli kurallarla hesaplanan katsayılardır (Horsley, 2022). Bu katsayılar, matematikte birbirleriyle ortogonal olan (dik) polinomlar kümesini ifade etmektedir. Çizelge 1’de kantitatif nitelikte ve seviye aralıkları eşit olan uygulamaların karşılaştırılmasında standart olarak kullanılan Ortogonal polinomiyal katsayılar verilmiştir (Snedecor & Cochran, 1967).

Çizelge 1. Ortogonal polinomiyal katsayılar tablosu

Table 1. Orthogonal polynomial coefficients formatted table

Karşılaştırılan seviye sayısı	Polinom Derecesi	Seviye Sayısı						Bölen Σc_i^2
		1	2	3	4	5	6	
1	Lineer	-1	+1					2
2	Lineer	-1	0	+1				2
	Kuadratik	+1	-2	+1				6
3	Lineer	-3	-1	+1	+3			20
	Kuadratik Kübik	+1	-1	-1	+1			4
			-1	+3	-3	+1		
4	Lineer	-2	-1	0	+1	+2		10
	Kuadratik Kübik	+2	-1	-2	-1	+2		14
	Kuartik	-1	+2	0	-2	+1		10
5		+1	-4	+6	-4	+1		70
	Lineer	-5	-3	-1	+1	+3	+5	70
	Kuadratik Kübik	+5	-1	-4	-4	-1	+5	84
	Kuartik	-5	+7	+4	-4	-7	+5	180
		+1	-3	+2	+2	-3	+1	28
		-1	+5	-10	+10	-5	+1	252

Eşit olmayan aralıklı kantitatif uygulamalarda ortogonal polinomiyal karşılaştırmalar

Kantitatif özellikli ve muamele seviyeleri arası uzaklıkların eşit olmadığı ve/veya tekerrür sayılarının eşit olmadığı denemelerde yapılacak ortogonal karşılaştırmalar için Çizelge 1’de verilen ortogonal polinom katsayıları doğrudan kullanılamamaktadır. Bu sebeple, eşit olmayan aralıklı denemelerde lineer ve kuadratik kontrast katsayılarının nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır (Steel & Torrie, 1980). Kontrast katsayılar hesaplandıktan sonra kontrast karşılaştırmalar için eşit aralıklı karşılaştırmalarda yapılan işlemler sırası ile tekrarlanır.

Lineer karşılaştırma katsayıları (c_{1i}) için;

1- Tüm seviyelerin genel ortalaması bulunur ve her seviye değeri ortalamadan çıkarılır.

2- Çıkarma işlemi ile elde edilen değerleri tam sayıya çevirmek için bir k sabitiyle (O.B.E.B.) çarpma veya bölme işlemi uygulanarak doğrusal karşılaştırma katsayıları elde edilir.

Kuadratik dereceden katsayılar (c_{2i}) ise aşağıdaki gibi belirlenir:

1- Kuadratik katsayıların elde edilmesinde lineer katsayılar (c_{1i}) kullanılmaktadır.

2- Bu katsayıların kareler toplamları (B), ardında küp kareler toplamı (C) hesaplanır.

3- Daha sonra denklem parametresi, n alt seviye sayısı olmak üzere, b ve d hesaplanır:

$b = -C/B$ ve $d = -B/n$ elde edilir. Ardından aşağıdaki eşitlik ile katsayılar hesaplanır.

$$c_{2i} = c_{1i2} + bc_{1i} + d$$

Elde edilen katsayılar tekrar kareler toplamıyla çarpılır. Bundan sonra katsayıların sadeleştirilmesi için en büyük ortak bölenleri bulunmalıdır. İki ya da daha fazla doğal sayıyı aynı anda bölen sayılara, bu sayıların ortak böleni ve bunun en büyüğüne en büyük ortak bölen (O.B.E.B.) denir. Kareler toplamının O.B.E.B. ile bölünerek bulunan katsayı (Kareler toplamı / O.B.E.B.) ile tüm katsayılar çarpılarak katsayılar tam sayıya dönüştürülür.

BULGULAR ve TARTIŞMA

1. Deneme

Etlik piliç rasyonuna 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm ve 175 ppm miktarlarında Bor ilavesinin canlı ağırlık (g) üzerine etkisinin araştırıldığı bir denemede alınan hipotetik ölçümler Çizelge 2'de verilmiştir. Rasyona ilave edilen bor uygulamasının canlı ağırlık değişiminde etkili olup olmadığı, etkisi var ise hangi doz seviyesinde nasıl bir eğilim gösterdiği ve yorumları aşağıdaki gibi incelenmiştir.

Çizelge 2. Etlik piliç rasyonunda farklı dozlarda bor uygulaması

Table 2. Boron application at different doses in broiler diets

Bor (ppm)	Canlı ağırlık (g)								Toplam		
100	1275	1650	1900	1450	2000	1300	1400	1275	1550	1350	27550
	1450	1625	1350	1425	1375	1225	1275	1325	1350		
125	1325	1325	1525	1675	1625	1625	1400	1425	1625	1700	27750
	1375	1400	1550	1525	1450	1450	1325	1125	1300		
150	1600	1575	1400	1525	1500	1650	1550	1475	1400	1450	28610
	1500	1400	1425	1600	1450	1575	1560	1550	1425		
175	1500	1350	1450	1325	1250	1300	1250	1275	1400	1425	26000
	1325	1525	1475	1350	1400	1500	1200	1400	1300		

Bu denemede muamele grupları kantitatif nitelikteki doz uygulamaları olduğu için, hangi doz seviyesinin canlı ağırlık değişimi üzerinde daha önemli olduğunun araştırılması yerine, doz seviyesinin canlı ağırlık değişiminde nasıl bir eğilime (trend) neden olduğunun araştırılması daha anlamlıdır. Böylece canlı ağırlık üzerinde etkili uygun bor miktarları tespit edilerek rasyonlar düzenlenebilecektir. Etlik piliç rasyonuna bor uygulama ortalamaları ve 3 karşılaştırma için kullanılacak lineer, kuadratik ve kübik polinom katsayıları, katkı seviyeleri ve kareler toplamları verilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Karşılaştırma katsayıları ve kareler toplamları

Table 3. Comparison coefficients and sums of squares

Karşılaştırma Sayısı	Karşılaştırma	Katkı Seviyesi (ppm)						Kareler Toplamı ($Q^2/r\Sigma c^2$)
		100	125	150	175	Q	$r\Sigma c^2$	
3	Lineer	-3	-1	+1	+3	-3790	19x20	37800.26
	Kuadratik	+1	-1	-1	+1	-2810	19x4	103896.05
	Kübik	-1	+3	-3	+1	-4130	19x20	44886.58
	ΣY_i	27550	27750	28610	26000			
	Ortalama	1450	1460.5	1505.8	1368.4			

$Q = \sum c_i Y_i$ olmak üzere;

Lineer karşılaştırma için Q değeri, $(-3)27550 + (-1)27750 + (+1)28610 + (+3)26000 = -3790$

Kuadratik karşılaştırma için, $(+1)27550 + (-1)27750 + (-1)28610 + (+1)26000 = -2810$

Kübik karşılaştırma için, $(-1)27550 + (+3)27750 + (-3)28610 + (+1)26000 = -4130$ olacaktır.

Kareler Toplamı = $Q^2 / r \sum c_i^2$ olmak üzere;

Lineer karşılaştırma için kareler toplamı, $(-3790)^2 / (19 \times 20) = 37800.26$

Kuadratik karşılaştırma için kareler toplamı, $(-2810)^2 / (19 \times 4) = 103896.05$

Kübik karşılaştırma için kareler toplamı, $(-4130)^2 / (19 \times 20) = 44886.58$ olacaktır.

Hesaplanan bu etkiler bor ana etkisine ait varyansın lineer, kuadratik ve kübik polinomlara parçalanmış halidir.

Denemelerde ana etkilere ait kareler toplamları hesaplandıktan sonra, ana etki düzey sayısına bağlı olarak değişen polinom dereceli kareler toplamları ve önemlilikleri varyans analiz tablosunda aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. ANOVA sonuçları ve bor uygulama etkisinin ortogonal parçalanması

Table 4. ANOVA results and orthogonal partitioning of boron application effect

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F
Bor	186582.9	3	62194.3	3.01*
Lineer	37800.26	1	37800.26	1.83
Kuadratik	103896.1	1	103896.1	5.03*
Kübik	44886.58	1	44886.58	2.17
Hata	1486911	72	20651.54	
Genel	1673493	75		

*: $p < 0.05$; SD: Serbestlik derecesi

Bor uygulamasının ana etkisi, hata ve genel kareler toplamları, serbestlik dereceleri ve F değerleri herhangi bir istatistik programı ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir. ANOVA sonucuna göre bor uygulamalarının etlik piliç canlı ağırlıkları üzerinde ana etkisinin istatistiki olarak önemli (anlamlı) olduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Ortogonal polinom katsayılarına göre hesaplanan etkiler ise her biri 1 serbestlik dereceli kareler toplamlarına ayrılarak tabloya yerleştirilmelidir. Bor ana etkisi için Bor kareler toplamları hata kareler ortalamasına ve polinomlara ait kareler ortalamaları da yine hata kareler ortalamalarına bölünerek ilgili F değerleri hesaplanmaktadır. Bu F değerlerinin önemlilikleri ana etki ya da polinom etkisinin serbestlik derecesi ve hata serbestlik derecesine göre F tablosundan belirlenen değere göre karşılaştırılarak karar verilmektedir. Örneğin bor uygulamasının F hesap değeri 3.01; $\alpha = 0.05$ seviyesinde, 3 (Bor) ve 72 (Hata) serbestlik dereceli F tablo değeri (2.74) ile karşılaştırıldığında $3.01 > 2.74$ olduğundan "Bor uygulamasının etkisi önemlidir" kararına ulaşılır. Benzer şekilde Lineer etkinin F tablo değeri ile (3.98) karşılaştırılınca önemsiz, kuadratik etkinin ise önemli olduğu belirlenmiştir. Başka deyişle bor uygulamaları sonucu canlı ağırlıkların belirli bir oranda artış göstererek belirli bir tepe noktasından sonra azalan bir yapıya sahiptir (Çizelge 4).

Bu işlemlerin ardından maksimum canlı ağırlığa ulaşılan bor uygulama dozunun (optimum doz) ne olduğu belirlenmelidir. Bu amaçla herhangi bir istatistik paket programında ikinci dereceden polinom (kuadratik parabol denklemi) hesaplanarak $y = ax^2 + bx + c$ şeklinde bir denklem elde edilir. Bu denklemde maksimum ağırlığa karşı gelen tepe noktası, dolayısı ile en uygun seviye $-b / (2xa)$ eşitliği ile elde edilir.

Bu denemede bor uygulaması için kuadratik polinom denklemi aşağıdaki gibi elde edilir:

Canlı ağırlık = $-0.059(\text{doz})^2 + 15.471(\text{doz}) + 483.658$

Tepe noktası ise (en uygun bor seviyesi) = $-b / (2xa) = -15,471 / (-2 \times 0,059) = 131.11$ ppm olarak bulunur.

2. Deneme

Tesadüf blokları deneme deseninde dört blok ve 3 tekerrür olmak üzere, buğday verimi üzerine üç farklı dozda (0 (kontrol), 10 ve 20kg da⁻¹) üre gübresi uygulamasının etkisinin araştırıldığı denemeden elde edilen hipotetik verim sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Buğday veriminde farklı dozlarda üre gübresi uygulaması

Table 5. Different doses of urea application in wheat yield

Doz (kg da ⁻¹)	Blok				Toplam
	1	2	3	4	
0	523	500	559	650	6776
	541	506	563	655	
	539	510	567	663	
	656	685	664	701	
	676	644	630	773	
10	621	759	691	793	8293
	529	691	610	685	
	541	625	605	691	
20	684	620	603	628	7512
Toplam	5310	5540	5492	6239	22581

Üre gübre dozlarının buğday veriminde meydana getirdiği eğilimi tespit etmek için grup ortalamaları, karşılaştırma için kullanılacak lineer ve kuadratik polinom katsayıları, kareler toplamları hesaplaması ve üre gübre uygulamasının ana etkisi ve blok etkisine ait ANOVA sonuçları ile ortogonal polinomiye etkilerin kareler toplamları ve serbestlik derecelerine göre kareler ortalamaları hesaplanarak F kontrolleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Karşılaştırma katsayıları ve kareler toplamları ve ANOVA sonuçları ve üre gübre uygulamasının ortogonal parçalanması

Table 6. Comparison coefficients and sums of squares, and ANOVA results and orthogonal partitioning of urea application

Karşılaştırma Sayısı	Karşılaştırma	Üre Gübre Seviyesi (kg da ⁻¹)			Q	rΣc ²	Kareler Toplamı (Q ² /rΣc ²)
		0	10	20			
2	Lineer	-1	0	1	736	12x2	22570.67
	Kuadratik	1	-2	1	-2298	12x6	73344.5
	ΣY _i	6776	8293	7512			
	Ortalama	564.7	691.1	626			

Varyans Analiz Tablosu

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	SD	Kareler Ortalaması	F
Üre Uygulama	95915,17	2	47957,58	28.04**
Lineer	22570.67	1	22570.67	4.26*
Kuadratik	73344.5	1	73344.5	14.82**
Blok	55499.42	3	18499.81	10.82**
Hata	51312.17	30	1710.41	
Genel	202726.75	35		

*:p<0.05; **:p<0.01; SD: Serbestlik derecesi

Çizelge 6'da varyans analiz tablosu incelendiğinde üre gübresi uygulamasının lineer ve kuadratik etkilerinin istatistik olarak önemli (anlamlı) olduğu görülür ($p < 0.05$). Ortogonal parçalamaya göre artan üre gübresi dozları ile buğday veriminin lineer olarak arttığı söylenebilir. Diğer taraftan kuadratik etkinin de önemli bulunması verim bakımından artışın devam etmesine karşın artış hızının azaldığını göstermektedir.

Ayrıca, kuadratik etkinin önemli bulunması, maksimum verim için en uygun üre gübresi dozunun kuadratik parabol ile belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu denemede üre gübre uygulaması için kuadratik polinom denklemi ve buğday veriminin maksimum olduğu üre gübre dozu seviyesi aşağıdaki gibi hesaplanarak 11.57 kg da^{-1} olarak bulunur:

$$\text{Verim} = -0.96(\text{doz})^2 + 22.22(\text{doz}) + 564.67$$

$$\text{Optimum üre seviyesi} = -b/2a, -(22.22)/(2 \times (-0.96)) = 11.57 \text{ kg da}^{-1} \text{ dir.}$$

3. Deneme

Faktöriyel düzende 4 tekerrürlü tesadüf parselleri deneme deseninde kurulan bir denemede 36 yumurtacı tavuğun rasyonuna 125 ppm, 150 ppm ve 175 ppm miktarlarında bor ve 2, 4, 6 g miktarlarında zeolit ilave edilmiştir. Deneme sonunda ilave edilen mineral maddelere göre hipotetik yumurta ağırlıklar (g) Çizelge 7'de ve ANOVA tablosu ise Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 7. Farklı seviyelerde bor ve zeolit uygulaması ve yumurta ağırlıkları (g)

Table 7. Boron and zeolite application at different levels and egg weights (g)

Zeolit (g)	Bor (ppm)											
	125				150				175			
2	70.84	71.01	71.14	70.98	77.97	76.99	77.32	77.97	79.85	79.94	80.16	79.36
4	73.4	73.58	73.71	73.55	80.2	79.92	80.63	80.57	76.27	75.91	75.91	77.13
6	75.09	75.65	75.04	75.74	82.04	82.65	83.02	83.64	74.4	75.22	74.92	74.95

Denemede, bor (125, 150, 175) ve zeolitin (2, 4, 6) üç seviyesi olduğundan, toplam 9 (3 x 3) farklı muamele kombinasyonu oluşur. Kareler toplamının hesaplanmasında kullanılan katsayılarla ortalamaların karşılıklı çarpımlar toplamı olan Q değerinin hesaplanması, bor uygulamasının lineer ortogonal polinomu için örnek olarak aşağıda verilmiştir:

$$(-1)284 + (-1)294.24 + (-1)301.52 + (1)319.3 + (1)305.2 + (1)299.5 = 44.3$$

Ayrıca, muamele kombinasyonlarının tamamında, polinomların lineer ve kuadratik derecelerinde Q değerleri hesaplandıktan sonra, kareler toplamı ($Q^2/r\Sigma c_i^2$), bor uygulamasının lineer etkisinin kareler toplamı (örnek) olarak hesaplanmıştır: Her bir bor uygulama seviyesi 3 ve bu seviyeler içinde 4 adet gözlem olduğundan $r=4$ olmak üzere $(44.3)^2/(4 \times 6) = 81.77$ olarak hesaplanır.

Muamele kombinasyonları karşılaştırma katsayıları, karşılaştırma kareler toplamının hesaplanan sonuçları ve Bor ve Zeolit uygulamalarının ortogonal polinomiye parçalanması ANOVA tablosu Çizelge 8'de verilmiştir.

İlgili F değerleri $\alpha=0.05$ seviyesindeki tablo değerleri ile karşılaştırıldığında; Bor ve Zeolitin ana etkisi ile "Bor*Zeolit" interaksiyon (etkileşim) etkisinin istatistik olarak önemli (anlamlı) olduğu görülür ($p < 0.05$). Bor ve Zeolit uygulamalarının lineer etkileri anlamlıdır. Yumurtacı tavuklarda, rasyona 125 ppm, 150 ppm ve 175 ppm bor ve 2, 4, 6 g zeolit ilavesinin, yumurta ağırlığında anlamlı değişime neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yumurta ağırlığına zeolit uygulamasının lineer etkisi istatistik olarak önemli (anlamlı) bulunurken ($p < 0.05$); kuadratik etkisi önemli (anlamlı) bulunmamıştır. Bor uygulamasının lineer ve kuadratik etkisi ise önemlidir ($p < 0.05$).

Çizelge 8. Muamele kombinasyonları karşılaştırma katsayıları, kareler toplamları, ANOVA

Table 8. Treatment combinations comparison coefficient, sums of squares, and ANOVA

Muamele Kombinasyonları											
Karşılaştırma	b _{1z1}	b _{1z2}	b _{1z3}	b _{2z1}	b _{2z2}	b _{2z3}	b _{3z1}	b _{3z2}	b _{3z3}	Q	Σci ²
Bor _L	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	44.3	6
Bor _Q	1	1	1	-2	-2	-2	1	1	1	-122	18
Zeolit _L	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	18.8	6
Zeolit _Q	1	-2	1	1	-2	1	1	-2	1	4.3	18
Bor _L Zeolit _L	1	0	-1	0	0	0	-1	0	1	-37.4	4
Bor _L Zeolit _Q	-1	2	-1	0	0	0	1	-2	1	11.4	12
Bor _Q Zeolit _L	-1	0	1	2	0	-2	-1	0	1	-44.5	12
Bor _Q Zeolit _Q	1	-2	1	-2	4	-2	1	-2	1	7.5	36
ΣY _i	284	294.4	301.5	310.5	321.3	331.4	319.3	305.2	299.5		
Ortalama	70.99	73.56	75.38	77.56	80.33	82.83	79.82	76.30	74.87		

Karşılaştırma	Q ² /rΣci ²	Kareler Toplamları
Bor _L	44.3 ² /(4x6)	81.77
Bor _Q	-122 ² /(4x18)	206.72
Zeolit _L	18.8 ² /(4x6)	14.73
Zeolit _Q	4.3 ² /(4x18)	0.26
Bor _L Zeolit _L	-37.4 ² /(4x4)	87.42
Bor _L Zeolit _Q	11.4 ² /(4x12)	2.71
Bor _Q Zeolit _L	-44.5 ² /(4x12)	41.26
Bor _Q Zeolit _Q	7.5 ² /(4x36)	0.39

L:Linear, Q:Kuadratik; b₁: 125 ppm; b₂:150 ppm; b₃:175 ppm; z₁:2g; z₂:4g; z₃:6g

Varyans Analiz Tablosu, ANOVA

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamları	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalamaları	F
Bor	288.76	2	144.38	849.29*
Bor _L	81.77	1	81.77	481.00*
Bor _Q	206.72	1	206.72	1216.00*
Zeolit	15.03	2	7.517	44.22*
Zeolit _L	14.73	1	14.73	86.65*
Zeolit _Q	0.26	1	0.26	1.53
Bor * Zeolit	131.55	4	32.89	193.47*
Bor _L Zeolit _L	87.42	1	87.42	514.24*
Bor _L Zeolit _Q	2.71	1	2.71	15.94*
Bor _Q Zeolit _L	41.26	1	41.26	242.71*
Bor _Q Zeolit _Q	0.39	1	0.39	2.29
Hata	4.58	27	0.17	
Toplam	213063.9	36		

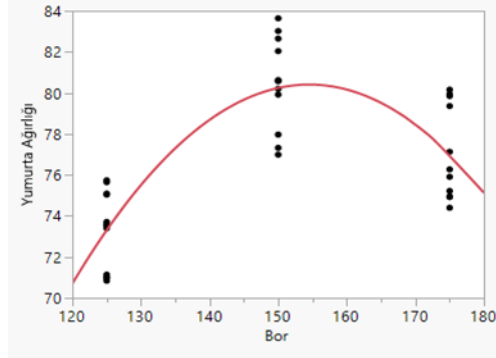
Bor uygulamasının yumurta ağırlığı üzerine elde edilen kuadratik eğrisi ve en uygun seviyesi;

Yumurta Ağırlığı=-0.008(bor)²+2.516(bor)-113.964 olarak bulunmuştur.

En uygun bor düzeyi; -b/2a eşitliğinden 157.25 olarak bulunmuştur. Şekil 1'de gösterilen kuadratik eğriye göre en uygun bor uygulaması 157.25 ppm olarak tespit edilmiştir.

Faktöriyel düzendeki denemelerde, uygulamaların ana etkileri yerine interaksiyon etkilerinin birlikte değerlendirilerek uygun doz seviyelerinin belirlenmesi daha uygundur.

Bor ve zeolit muamele kombinasyonlarının yumurta verimi ile kuadratik ilişkisinin eğrisi; Yumurta ağırlığı= $-0.009(\text{muamele kombinasyonu})^2+2.81(\text{muamele kombinasyonu})-141.665$ ve en uygun muamele kombinasyonu dozu 158.27 olarak bulunmuştur. Buna göre, en uygun muamele kombinasyonu 150 ppm bor ve 8 g zeolit uygulaması olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Yumurta ağırlığı (g) üzerine bor uygulamasının kuadratik eğrisi
Figure 1. Boron application quadratic curve on egg weight (g)

Nitekim, borun kuadratik etkisinin ve zeolit uygulamasının lineer etkisinin önemli olduğunu ifade eden 150 ppm bor ve 6 g zeolit seviyelerinde ağırlık ortalamalarının en yüksek olduğu ($b_{2z_3}:82.83$) görülmektedir (Çizelge 8). Bu nedenle denemenin zeolit için 8 g ve 10 g seviyesindeki dozlarında rasyon uygulamalarının yumurta ağırlıklarında artışlar sağlayacağı beklenebilir.

4. Deneme

Bir zeytin bahçesinde %10, %20 ve %50 alt seviyelerinde uygulanan fosfor gübrelemesinin zeytin verimi üzerine etkisinin araştırıldığı hipotetik bir denemede; alt grup sayıları eşit olmadığı için lineer ve kuadratik ortogonal polinomiyal katsayılar aşağıdaki gibi hesaplanır:

Lineer katsayılar için;

1- Alt seviyelerin ortalamaları (C_{21} , C_{22} , C_{23});

$$(10+20+50)/3= 26.67 \text{ bulunur.}$$

2- Her bir seviyenin ortalamadan farkı sıra ile (C_{21} , C_{22} , C_{23});

$$10-26.67 = -16.66, 20-26.67 = -6.66 \text{ ve } 50-26.67 = 23.33 \text{ olacaktır.}$$

3- O.B.E.B. olan 3/10 değeri ile çarpılması sonucu; lineer katsayılar -5, -2, 7 olacaktır.

Kuadratik katsayılar için;

1- Lineer katsayıların kareleri alınır: $B=(-5)^2+(-2)^2+(7)^2=78$

2- Lineer katsayıların küpleri alınır: $C=(-5)^3+(-2)^3+(7)^3=210$

$$b=-C/B=-210/78 \text{ ve } d=-B/n=-78/3 \text{ olacak}$$

$c_{2i} = c_{1i}^2 + bc_{1i} + d$ tanımlandığından;

$$c_{2i} = c_{1i}^2 + (-210/78) \times c_{1i} + -78/3$$

$$c_{21} = (-5)^2 + (-210/78) \times (-5) + -78/3 = 12.46$$

$$c_{22} = (-2)^2 + (-210/78) \times (-2) + -78/3 = -16.62$$

$$c_{23} = (7)^2 + (-210/78) \times (7) + -78/3 = 4.15$$

Bu katsayılar kareler toplamı (78) ile çarpılarak O.B.E.B. bulunur. Örnekte O.B.E.B. 324'tür. $78/324$ (B/ O.B.E.B) ile katsayılar çarpılarak tam sayıya dönüştürüldüğünde, Kuadratik katsayılar 3, -4 ve 1 olur. Eşit olmayan aralıklı bu denemede lineer ve kuadratik kontrast katsayılarının hesaplanması Çizelge 9' da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Eşit olmayan aralıklarda ortogonal polinomiyal katsayıların hesaplanması

Table 9. Calculation of orthogonal polynomial coefficients at unequal intervals

	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	Ortalama
1-	10	20	50	26.67
2-	-16.67	-6.67	23.33	
3-	-16.67x3/10	-6.67x3/10	23.33x3/10	3/10
Lineer Katsayılar	-5	-2	7	
	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	Toplam
Lineer katsayılar	-5	-2	7	0
1-	25	4	49	78
2-	-125	-8	343	210
Kuadratik katsayılar	3	-4	1	0

Bu katsayıların hesaplanmasından sonra ilgili deneme desenlerine göre yine benzer şekilde ana, blok ve/veya interaksiyon ve polinom etkilerinin kareler ortalamaları hesaplanarak hangi dozun etkili olduğu belirlenir.

Sonuç olarak, tarımsal denemelerde, verilerin doğru istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi ve yorumlanması, araştırma sonuçlarına ilişkin doğru kararlar alınmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, eşit ve eşit olmayan aralıklı ölçümlerde ortogonal polinomiyal karşılaştırmaların uygulanışı ele alınmıştır. Ortogonal karşılaştırmalar, bir deneyde farklı grup ortalamalarını karşılaştırmak için kullanılan istatistik yöntemlerdir. Birden çok karşılaştırmaların yapıldığı deney tasarımlarında yararlı olan bu yöntem, yanıltıcı sonuçların elde edilme riskini azaltmaya yardımcı olur.

Nitekim tarımsal denemelerde, varyans analizinde önemli bulunan kantitatif yapıdaki uygulama seviyeleri arası farklılıkların belirlenmesinde; klasik Duncan, LSD ya da Tukey testlerinin kullanımı yaygın hatalardandır. Oysa kantitatif seviye farklılıklarının belirlenmesinde verimdeki eğilime göre karar verilmesi doğru yaklaşım olacaktır.

Bunun yanı sıra bir başka hata, varyans analizinde etkisi önemli bulunmayan uygulama seviyeleri arasında karşılaştırma yapılmamasıdır. Oysaki ortogonal karşılaştırmalarda uygulamalar için F testinin önemli çıkması gerekmemektedir.

Optimum doz seviyesi kararını vermek için denemelerin daha önceden planlanan tasarımlara uygun bir şekilde yürütülmesi ve analiz edilmesi ise son derece önemli olan bir başka konudur. Araştırmacıların, verileri analiz ederken doğru yöntemi kullanmak ve yorumlamak için temel istatistik bilgilerine sahip olması ve deneme hatasını en küçük hale getirecek tüm etkileri dikkate alması gerekmektedir. Yanlış deneme tasarımı ve analizi deneme hatasını büyütmede, bu da yanlış hata kareler ortalamasına neden olmakta; dolayısıyla yanıltıcı sonuçlara ulaşılmaktadır. Özellikle faktöriyel düzenle, birden fazla faktörün birlikte uygulandığı denemelerde, tek başına ana etkiler yerine interaksiyon etkilerinin incelenmesi daha önemlidir. Böyle denemelerde artan uygulama dozlarının maliyetine göre elde edilecek verimden alınacak ekonomik kazanç belirleyici olmalıdır.

Diğer yandan, bu çalışmada verilen deneme örneklerindeki veri büyüklükleri güvenilir tahminlemeler için örnek alınmalıdır. Bir denemede kullanılan örnek büyüklüğünün artması ile deneme hatası azalacak ve muameleler arası farklılık da o kadar hassas belirlenecektir. Denemede kullanılan örnek büyüklüğü uygulama seviyelerinin güvenilir olarak polinomiyal parçalanmasına doğrudan etki etmektedir.

Araştırmalarda dikkate edilmesi gereken bir diğer konu, kübik etkinin tarımsal araştırmalarda pek rastlanmadığı ve böyle bir etki varlığında, yukarıda belirtilen hataların varlığının kontrol edilmesinin gerekmesidir. Polinom derecesi 4 ve daha fazla olan eğriler genelde deneme hataları nedeniyle ortaya çıkmakta, biyolojik olarak yorumları güç ve uygun olmamaktadır.

Günümüzde birçok istatistik paket program yardımı ile varyans analizlerinin yapılması mümkündür. Ancak inceleme konusu değişken üzerine etkisi araştırılan faktör seviyelerinin parçalanması ve işlemlerinin bu çalışmada anlatılan hesaplamalarla yapılması gerekmektedir. Deneme tasarımının karmaşılaşması durumunda bu hesaplamalar daha

da önemli olmaktadır. Özellikle eşit olmayan aralıklı dozların karşılaştırılmasında kullanılacak katsayılar yine yukarıda anlatılan yöntemlerle hesaplanmak zorunda ve bu işlemler bilinen programlar içinde henüz yer almamaktadır.

Sonuç olarak, kantitatif faktörler ve seviyelerinin incelendiği denemelerde optimum seviyenin tespiti için ortogonal parçalamanın yapılması gerekmektedir. Böylece faktör seviyelerinin eşit aralıklı olup olmadığına bakılmaksızın düzenlenen deneme planların da uygun doz seçimi yapılabilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMA BEYANI

Makale yazarları aralarında çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

ARAŞTIRMACILARIN KATKI ORANI BEYANI

Yazarlar, çalışmaya eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

ETİK ONAY BEYANI

Bu makalede insan veya hayvan deneklerle herhangi bir işlem yapılmamış olması nedeniyle etik onaya gerek duyulmamıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, N., & Açıkgöz, N. (2001). Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 11 (1), 135-147.
- Barnett, M.J., Doroudgar, S., Khosraviani, V., & Ip, E.J. (2022). Multiple comparisons: to compare or not to compare, that is the question. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 18 (2), 2331-2334. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2021.07.006>
- Çelik, Ş., Coşkun, F., & Yılmaz, O. (2015). Türk alaca atlarda yaş grubuna göre vücut ölçülerinin farklı ortogonal karşılaştırma yöntemleriyle incelenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3 (1), 81-87. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/comuagri/issue/25675/270835>
- Düzgüneş, O., Tahsin, K., Kavuncu, O., & Gürbüz, F. (1987). *Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları - II)*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi.
- Eisenhart, C. (1947). The assumptions underlying the analysis of variance. *Biometrics*, 3 (1), 1-21. <https://doi.org/10.2307/3001534>
- Efe, E., & Çanga, D. (2017). Tek faktörlü çalışmalarda alt grup tasarımı kontrast analizi ve pamuk verilerine uygulanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 20, 154-159. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.349183>
- Horsley, R. (2022). Orthogonal polynomial contrasts individual df comparisons> equally spaced treatments. <https://www.ndsu.edu/faculty/horsley/Polycnst.pdf>
- Howell, D.C. (2010). *Statistical methods for psychology* (7th ed.). Wadsworth, Cengage Learning. <https://labs.la.utexas.edu/gilden/files/2016/05/Statistics-Text.pdf>
- İkiz F., Püskülcü H., & Eren Ş., (2012). *İstatistiğe Giriş*. Barış Yayınları Fakülteler Kitabevi, İzmir, ss.444.
- Olgun, M., Ayter, N.G., Kutlu, İ., & Budak Başçıftçı, Z. (2012). Farklı gamma ışını dozlarının ekmeklik buğdayda fide gelişimi üzerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (2), 73-80.
- Snedecor, G.W., & Cochran, W.C. (1967). *Statistical Methods*. Sixth Ed., The Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Steel, R.G.D., & Torrie, J.H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 2nd edition. McGraw-Hill Inc., New York, New York.