

DİŞLİ KUTUSUNUN PARAMETRİK TASARIMINDA; DÖNME YÖNÜ, GÜÇ VE HELİS AÇISI DEĞİŞİMİNİN MİLLERDEKİ EĞİLME MOMENTİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Ufuk ÖZDEMİR

Hava Harp Okulu Dekanlığı
Yeşilyurt/istanbul
u.ozdemir@hho.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada iki kademeli helisel dişli kutusunun parametrik tasarımını yapan bir yazılım kullanılarak; güç, helis açısı ve dönme yönü değişimine bağlı olarak herbir milde meydana gelen eğilme momentleri hesaplanmış ve bu değişkenlerin eğilme momentleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu amaçla AutoCAD altında çalışan yapay zeka programlama dili olan AutoLisp kullanılarak hazırlanan bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılım güç, helis açısı ve dönme yönünün farklı değerleri için defalarca çalıştırılmış ve böylece her bir değişken için farklı eğilme momentleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak güç, helis açısı ve dönme yönü ile eğilme momentleri arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve bu değişkenlerinin eğilme momentleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu inceleme için bilinen istatistiksel yöntemlerden korelasyon analizi ve ortalama değer analizi teknikleri kullanılmıştır. Böylece eğilme momenti ile güç, helis açısı ve dönme yönünün ilişkisi incelenmiş ve bu değişkenlerin eğilme momentleri üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Eğilme Momentleri, AutoLISP, Boyutlandırma, İstatistiksel Analiz

1.GİRİŞ

Son yıllarda makine tasarımında BDT (bilgisayar destekli tasarım) programları yaygınca kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedeni BDT programlarının klasik tasarıma göre sağladığı üstünlüklerdir. Fakat aynı tasarımın farklı giriş değerleri için defalarca yapılması zamansal ve ekonomik yönden sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır. Örneğin farklı çevrim oranı, diş sayısı, güç, helis açısı, emniyet katsayısı vb. gibi giriş değerleri için helisel dişli çifti hesapları yapılması istendiğini ve her bir değişkenin ortalama 5 farklı değer alabileceğini düşünelim. Bu durumda her bir parametrenin kombinasyonu şeklinde giriş şartları oluşacağından $5 \times 5 \times 5 \times 5 = 3125$ farklı giriş şartı oluşacak ve 3125 defa boyutlandırma hesabının yapılması gerekecektir. Değişken sayısının ve değişkenlerin değişme sayısının artması durumunda bu sayının çok daha büyük değerler alabileceği açıktır. Bu sıkıntılar nedeniyle, BDT programları ile uyumlu çalışan ve farkı veriler için aynı programı defalarca çalıştırarak boyutlandırma yapan yazılım dilleri geliştirilmiştir. AutoLisp yukarıda sayılan sıkıntıları ortadan kaldıran böyle bir yazılım olup, AutoCAD uygulamalarında, Lisp (List processing-Liste işleme) dilinin AutoCAD için uyarlanmış halidir [1].

AutoLisp dosyaları standart veya yazılımcı tarafından hazırlanmış birtakım fonksiyonların birleşmesinden meydana gelmiştir. Aslında Autolisp, seçilen ve/veya tanımlanmış olan fonksiyonların kullanılması, değişkenlere değer atanması ve bunların

değerlendirilmesiyle sonuçların elde edilmesi mantığıyla çalışan bir parametrik tasarım yazılımıdır. Parametrik tasarımın sağladığı faydalar şöyle sıralanabilir;

- Boyutlandırmanın oldukça hızlı bir şekilde yapılabilmesi,
- Hesaplamalarda doğruluğunun ve güvenilirliğinin yüksek olması,
- Boyutlandırma konusunda yeterli bilgi ve tecrübe sahibi olmayan personelin de yazılımı kullanarak boyutlandırma yapabildiği,
- Boyutlandırmayı etkileyen parametre ve/veya denklemler üzerinde modifikasyon ihtiyacı ortaya çıktığında, yazılım üzerinde gerekli güncellemelerin yapılması suretiyle hızlıca sonucun elde edilebilmesi,
- Yazılımın farklı giriş değerleri kullanılarak defalarca çalıştırılması suretiyle, değişkenlerin boyutlar üzerindeki etkisinin sayısal olarak incelenebilmesi,
- Boyutlandırmada standardizasyonun sağlanması,
- Klasik boyutlandırmada yapılması olası tablo ve/veya grafik okumadan kaynaklanan hataların önüne geçilebilmesi.

Bu çalışmada; AutoLisp'te hazırlanmış iki kademeli helisel dişli kutusu parametrik tasarımını yapan bir yazılım kullanılarak, eğilme momenti üzerinde güç, helis açısı ve dönme yönünün etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu amaçla dönme yönünün 2,

helis açılarının $2 \times 4 = 8$ ve gücün 4 farklı değerinin kombinasyonundan oluşan toplam 128 farklı giriş şartı tanımlanmış ve bu giriş şartları ilgili yazılımda kullanılarak millerde meydana gelen eğilme momentleri hesaplatılmıştır. Her bir giriş şartı için elde edilen boyutlar bilgisayar ortamında saklanmış ve giriş şartlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme amacıyla korelasyon analizi ve ortalama değer analizi teknikleri kullanılmıştır. Böylece, AutoCAD altında çalışan AutoLisp kullanılarak hazırlanmış olan parametrik tasarım yazılımıyla, millerde meydana gelen eğilme momenti üzerinde güç, helis açısı ve dönme yönünün etkisi istatistiksel olarak incelenmiş ve bu değişkenlerin eğilme momentleri üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur.

2. BOYUTLANDIRMA VE YAZILIMIN YAPISI

Bu çalışmada kullanılan AutoLisp yazılımındaki fonksiyonlar, klasik hesaplamalarda kullanılan denklemlerin AutoLisp yazılım formatına uyarlanmış halidir.

2.1 AutoLisp Programının Yapısı

Lisp yapay zeka uygulamalarında kullanılan bir programlama dili olup List Processing (Liste işleme)'in kısaltılmış halidir. Autolisp de Lisp programlama dilinin AutoCAD ile uyumlu hale getirilmiş şeklidir. Herhangi bir AutoLisp yazılımı, birtakım standart fonksiyonların ve/veya programı hazırlayan kişinin tanımlamış olduğu fonksiyonların birleşmesinden meydana gelir. Bu dosyaların ASCII kodu oluşturabilen bir kelime işlemcide yazılması ve uzantılarının .lsp şeklinde olması bir zorunluluktur [2].

Tüm AutoLisp dosyaları defun fonksiyonu ile başlar. Bu fonksiyon Lisp programlamanın en temel fonksiyonu olup programlamanın başladığını ifade eder ve programın başında ve tanımlanacak olan her alt programın ilk satırında yazılması zorunludur. AutoLisp dosyasını oluşturan tüm fonksiyonlar sol parantez ile başlar ve sağ parantez ile biter. Bu kurala uymak şartıyla istenildiği kadar parantez açılıp kapatılabilir. Tek şart, açılan parantez sayısı ile kapatılan parantez sayısının eşit olması zorunluluğudur. Programlamada kullanılacak değişkenler, setq fonksiyonu kullanılarak değer atanarak karakter yada karakter topluluklarıdır. Değişken isimleri ilk karakteri harf olmak ve arada boşluk bırakmamak şartıyla istenilen uzunlukta olabilir. Program büyük, küçük harf ayırımı yapmaz. Değişken isimlerinin, atandığı değeri tanımlayan ifade şeklinde olması programın yazımı sırasında kolaylık sağlayacağından tavsiye edilir [2 ve 3]. AutoLisp programlamada kullanılacak veri tipleri tamsayılar, reel sayılar, yazı dizileri, listeler, AutoCAD değişkenleri, AutoCAD objeleri veya AutoCAD ortamından seçilmiş objeler olabilir. Reel sayıların veri olarak girilmesi sırasında birden küçük değerlerde noktanın soluna 0 (sıfır) yazılması bir zorunluluk olmamakla birlikte, programın

çalışması sırasında meydana gelebilecek karışıklıkların önlenmesi bakımından 0 yazılması faydalıdır. Yazı dizileri program tarafından kullanıcıya sorulan sorular ve bu sorulara kullanıcının evet, hayır, tamam veya benzeri şekilde verdiği cevaplar olup tırnak içinde (".....") yazılması gereken veri girişleridir. Listeler özellikle çizim aşamasında bir noktanın koordinatını tanımlamak için (X, Y, Z) şeklinde ifade edilen veri tipleridir [2-6].

Yazım formatına uygun olarak hazırlanmış AutoLisp yazılımının çalıştırılabilmesi için AutoCAD ortamına yüklenmesi gerekir. Bu işlem AutoCAD ortamında Command satırına (load"dosya adı") yazılması şeklinde yapılabileceği gibi AutoCAD R12 ve sonraki versiyonlarında Pull Down menüde yer alan File-Application seçeneği kullanılarak da yapılabilir. Autolisp programı yüklendikten sonra programın yazılması sırasında defun fonksiyonundan sonra yazılan c: xxx ifadesi Command satırına xxx şeklinde yazılıp enter tuşuna basılırsa program çalıştırılmış olur. Yukarıda anlatılan esaslara göre hazırlanmış olan programın akış diyagramı EK-A'da verilmiştir.

2.3 Programın Çalıştırılması

Yazılımın çalıştırılması sırasında dönme yönü, güç ve iki kademeye ait helis açıları programa giriş değişkenleri olarak kabul edilmiş ve dönme yönünün 2, gücün 4, birinci ve ikinci kademede her bir helis açısının 4 farklı değeri dikkate alınmıştır. Böylece; bu değerlerinin kombinasyonu ile birbirinden farklı toplam $2 \times 4 \times 4 \times 4 = 128$ adet giriş şartı belirlenmiştir. Giriş değişkenlerinin değişim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Giriş değişkenlerinin değişim değerleri

Giriş Değişkeni	Değişim Sayısı	Değerleri
Dönme yönü	2	Sağ ve Sol
Güç	4	10,15,20,25
1.kademe helis açısı	4	8,12,16,20
2.kademe helis açısı	4	8,12,16,20

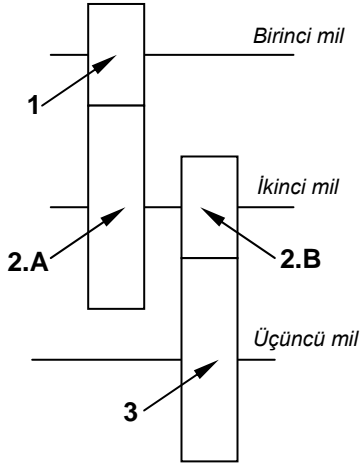
Dişli kutusunun tasarımında bazı değişkenlerin (emniyet katsayısı, verim, çalışma faktörleri, malzeme vb.) değerleri ihtiyaçlara göre tasarımcı tarafından seçilir. Bu değerler Tablo 2'de toplu olarak verilmiş olup, yazılımın çalıştırılması sırasında bu değişkenlere ait değerler sabit tutulmuştur.

Tablo 1'de verilen giriş değişkenlerinin kombinasyonu ile oluşturulan 128 adet giriş şartı kullanılarak yazılım çalıştırılmış ve giriş şartlarına bağlı olarak değişen her bir kademedenin modülü, birinci mildeki maksimum eğilme momenti, ikinci

milin iki farklı noktasındaki maksimum eğilme momentleri ve üçüncü mildeki maksimum eğilme momenti değişimleri izlenmiştir. Şekil 1’de dişli kutusunun biçimi ve buna bağlı olarak millerde oluşan maksimum eğilme momentlerinin yerleri gösterilmiştir. Giriş şartları, giriş şartlarına bağlı olarak değişen modül ve maksimum eğilme momentleri EK-B’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 2. Sabit tutulan değişkenler

Değişken	Değeri
Giriş devir sayısı	1500 d/d
Çıkış devir sayısı	150 d/d
Pinyonların diş sayısı	20
Rulmanların verimi	1
Dişli çarkların verimi	0,98
Motor çalışma faktörü	1,25
Makine çalışma faktörü	1,25
Genişlik faktörü	1
Hız faktörü	1
Dişlilerin akma gerilmesi	55 daN/mm ²
Dişlilerin kopma gerilmesi	95 daN/mm ²
Pinyonların yüzey sertliği	650 HB
Çarkların yüzey sertliği	600 HB
Yorulma emniyet katsayısı	1,4
Yüzey basıncı emniyet katsayısı	1,5
Malzeme elastiklik faktörü	85,7
Yuvarlanma noktası faktörü	1,76



- 1- Birinci mildeki maksimum eğilme momenti
- 2.A- İkinci milde A noktasındaki eğilme momenti
- 2.B- İkinci milde B noktasındaki eğilme momenti
- 3- Üçüncü mildeki maksimum eğilme momenti

Şekil 1. Dişli kutusunun biçimi ve maksimum eğilme momentlerinin yerleri [7,8]

3. DEĞİŞKENLER VE HESAPLANAN DEĞERLER ARASINDAKİ İLİŞKİ VE ETKİLEŞİM

3.1 Korelasyon Analizi

İki yada daha fazla değişken arasındaki ilişkinin gücünü gösteren ölçüye korelasyon, bu ilişkiyi rakamsal olarak

ifade eden katsayıya ise korelasyon katsayısı (r) denir. Diğer bir ifadeyle korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin beraber değişme derecesinin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda korelasyon, değişkenler arasındaki ilişkinin ortalamasını veren bir analizdir [9, 10, 11].

Korelasyon katsayısı $-1 < r < 1$ arasında değişir. Korelasyon katsayısının $r=0$ olması değişkenler arasında bir ilişki olmadığını, korelasyon katsayısının $r=1$ olması değişkenler arasında aynı yönlü tam doğrusal bir ilişki olduğunu ve korelasyon katsayısının $r=-1$ olması ise değişkenler arasında ters yönlü tam doğrusal ilişki olduğunu ifade etmektedir. Korelasyon katsayısının mutlak değeri ne kadar büyük ise, değişkenler arasındaki ilişki de o kadar güçlüdür. Korelasyon katsayısı Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right)}} \quad (1)$$

Denklem 1’de; x ve y değişkenleri, n değişken sayısını, \bar{x} ve \bar{y} değişkenlerin ortalamasını ifade etmektedir. Yapılan çalışmada giriş değişkenleri ile çıkış değerleri arasında hesaplanan korelasyon katsayıları Tablo 3’de verilmiştir. Aşağıda açıklanan ifadeler korelasyon katsayısının değerlendirilmesinden elde edilmiştir.

Tablo 3 incelendiğinde, dönme yönü ile en yüksek korelasyona sahip olan çıkış değerinin üçüncü mildeki eğilme momenti olduğu görülecektir. Bunu sırasıyla birinci mildeki eğilme momenti, ikinci milin B noktasındaki eğilme momenti ve ikinci milin A noktasındaki eğilme momenti izler. Dönme yönü ile ikinci mildeki eğilme momentleri arasındaki korelasyon pozitif yönlü olurken, diğer millerdeki eğilme momentleri ile korelasyon negatiftir. Dönme yönüyle korelasyonun negatif olması dönme yönü 1 ise ilgili değişkenin arttığını, dönme yönü 2 ise ilgili değişkenin azaldığını ifade etmektedir. Bunun tersi de doğrudur. 1 ve 2 numaralı dönme yönlerinin fiziksel karşılıkları Tablo 3’ün altında açıklanmıştır. Dönme yönü ile her iki kademenin modülü arasında korelasyon katsayısı sıfırdır. Yani dönme yönü ile modüller arasında korelasyon yoktur. Diğer bir ifadeyle modül dönme yönünden bağımsızdır.

Güç ile tüm çıkış değerleri pozitif korelasyona sahiptir ve güç ile bu değerler arasındaki korelasyon oldukça yüksektir. Korelasyonun pozitif olması gücün artmasıyla birlikte çıkış değerlerinin arttığını, korelasyonun yüksek olması güç ile çıkış değerleri arasındaki ilişkinin yüksek olduğunu göstermektedir. Güç ile en yüksek korelasyonu

ikinci milin A noktasındaki eğilme momenti sağlarken, en düşük korelasyonu üçüncü mildeki eğilme momenti sağlamaktadır. Bu durum; güçteki değişimin en çok ikinci milin A noktasındaki eğilme momentinin değişiminde etkili olduğunu, en az ise üçüncü milin eğilme momentinin değişiminde etkili olduğunu göstermektedir. Gücün hesaplanan çıkış değerleri üzerindeki etkisinin büyükten küçüğe doğru sıralaması;

ikinci milin A noktasındaki eğilme momenti, ikinci milin B noktasındaki eğilme momenti, birinci mildeki eğilme momenti, modül (her iki kademeye ait korelasyon katsayıları aynıdır) ve üçüncü mildeki eğilme momenti şeklindedir.

Tablo 3. Giriş değişkenleri ile hesaplanan değerler arasındaki korelasyon katsayıları

Hesaplanan Değerler		Giriş Değişkenleri			
		Yön	Güç	1.kd.helis açısı	2.kd.helis açısı
1. kademenin modülü		0	0,959	-0,267	0
2. kademenin modülü		0	0,959	0	-0,267
1.mildeki maksimum eğilme momenti		-0,127	0,982	0,119	-0,006
2.mil	A noktasındaki eğilme momenti	0,004	0,999	0,035	0,013
	B noktasındaki eğilme momenti	0,091	0,985	-0,006	0,112
3.mildeki maksimum eğilme momenti		-0,275	0,904	-0,004	0,284

1.kademenin helis açısı ile en yüksek korelasyonu 1.kademenin modülü sağlamaktadır. Bu kademenin helis açısı ile 2.kademenin modülü arasındaki korelasyon sıfırdır. Bu doğal bir sonuçtur. Çünkü 1.kademenin helis açısı 1.kademenin modülü üzerinde etkilidir, ancak 2.kademenin modülü üzeri herhangi bir etkiye sahip değildir. 1.kademe helis açısının eğilme momentleri üzerindeki etkisi incelendiğinde; 1.mildeki eğilme momenti üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu, 3.mil ve 2.milin B noktasındaki eğilme momenti üzerinde ihmal edilebilecek kadar küçük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

2.kademenin helis açısı ile modüllerin korelasyonu, 1.kademenin helis açısı ile modüller arasındaki korelasyonun tersi şeklindedir. Yani 2.kademenin helis açısı ile 1.kademenin modülü arasındaki korelasyon sıfırdır. Çünkü 2.kademenin helis açısı 2.kademenin modülü üzerinde etkilidir, ancak 1.kademenin modülü üzeri herhangi bir etkiye sahip değildir. 2.kademe helis açısının eğilme momentleri üzerindeki etkisi incelendiğinde; 3.mildeki eğilme momenti üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu, 1.mildeki eğilme momenti üzerinde ihmal edilebilecek kadar küçük bir etkiye sahip olduğu, 1.mildeki eğilme momenti haricindeki tüm eğilme momentleriyle pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir.

Korelasyon katsayılarının genel bir değerlendirilmesi yapıldığında; momentler üzerinde en büyük etkiye sahip olan değişkenin güç olduğu görülmektedir. Bu nedenle millerdeki eğilme momentlerinin azaltılabilmesi için gücün azaltılması gereklidir. Ancak gücün değişmediği ve sabit olduğu düşünülürse; 1.mildeki momenti azaltabilmek için 1.kademenin helis açısı azaltılmalı ve/veya 2.kademenin helis açısı artırılmalıdır. Benzer yaklaşımla 2.milin A noktasındaki eğilme momentini azaltabilmek için her iki kademenin helis açısı azaltılmalıdır. 2.milin B noktasındaki eğilme

momentinin azaltılabilmesi için 1.kademenin helis açısı artırılmalı ve/veya 2.kademenin helis açısı azaltılmalıdır. 3.milde minimum eğilme momentinin sağlanabilmesi için ise benzer şekilde 1.kademenin helis açısı artırılmalı ve/veya 2.kademenin helis açısı azaltılmalıdır.

3.2 Ortalama Değer Analizi

Ortama değer analizi, değişkenlerin birbirini etkileme derecesini ve yönünü gösteren bir analizdir [10, 11]. Yapılan çalışmadan elde edilen ortalama değer analizinin sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4’de giriş değişkenleri sütunlar halinde, bu değişkenlere bağlı olarak hesaplanan değerler ise satırlar halinde verilmiştir. Herhangi bir satır ile sütunun kesiştiği hücrede kalan sayı iki faktör arasındaki değişimi ifade eden rakamı vermektedir. Rakamın pozitif olması etkileşimin aynı yönlü, negatif olması ise etkileşimin ters yönlü olduğunu göstermektedir. Etkileşimi ifade eden rakamın büyüklüğü etkileşimin derecesini göstermektedir. Örneğin Tablo 5’deki herhangi bir satır incelenecek olursa; bu satırda ifade edilen değer ile bu satırda yer alan rakamlardan en büyüğünün bulunduğu sütundaki giriş değişkeni arasında en büyük etkileşim, en küçük rakamın bulunduğu sütundaki giriş değişkeni ile ise en küçük etkileşim söz konusudur.

Tablo 4 incelendiğinde modüller üzerinde en büyük etkiye sahip olan giriş parametresinin güç olduğu görülür. Güçten sonra en etkili olan giriş parametresi ilgili kademeye ait helis açısıdır. Ancak helis açısı ile modüllerin etkileşimi ters yönlüdür. Yani helis açısının modülü küçültmektedir. Bunun tersi de doğrudur.

Tablo 4. Ortalama değer analizinin sonuçları

Hesaplanan değerler		Giriş parametreleri			
		Yön	Güç	1.kademenin helis açısı	2.kademenin helis açısı
1.kademenin modülü		0	0,417	-0,117	0
2.kademenin modülü		0	0,602	0	-0,169
1.mildeki eğilme momenti		-2046	14102	1710	-79
2.milin	A noktasındaki eğilme momenti	97	23339	817	307
	B noktasındaki eğilme momenti	3965	38403	-229	4367
3.mildeki eğilme momenti		-14843	43609	-175	13679

1.mildeki eğilme momenti değişiminde etkili olan giriş parametrelerinin etki dereceleri Tablo 5’de 3.satırda verilmiştir. Buna göre 1.mildeki eğilme momenti üzerinde en etkili parametre güç olup, bunu sırasıyla dönme yönü, 1.kademenin helis açısı ve 2.kademenin helis açısı izler. 1.mildeki eğilme momenti güç ve 1.kademenin helis açısı ile pozitif etkileşime sahipken, diğer değişkenlerle negatif etkileşime sahiptir. Etkileşimin negatif yada pozitif olmasının oluşturduğu etki yukarıda anlatıldığı gibidir. Ancak dönme yönü ile olan negatif etkileşimin anlamı farklıdır. Şöyleki; diğer tüm değişkenlerin sabit olması durumunda, dönme yönünün 2 olması 1.mildeki eğilme momentini azaltmaktadır.

3.mildeki eğilme momenti değişiminde en etkili parametre güç olup, bunu sırasıyla dönme yönü, 2.kademenin helis açısı ve 1.kademenin helis açısı izler. 3.mildeki eğilme momenti güç ve 2.kademenin helis açısı ile pozitif etkileşime sahipken, diğer değişkenlerle negatif etkileşime sahiptir. Etkileşimin negatif yada pozitif olmasının oluşturduğu etki yukarıda anlatıldığı gibidir. Ancak dönme yönü ile olan negatif etkileşimin anlamı farklıdır. Şöyleki; diğer tüm değişkenlerin sabit olması durumunda, dönme yönünün 2 olması 3.mildeki eğilme momentini azaltmaktadır.

Ortalama değer analizinden elde edilen sonuçlarla, korelasyon analizinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Şekil 2’de ortalama değer analizi sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 2’deki herhangi bir doğrunun eğimi ne kadar fazla ise, bu doğrunun ifade ettiği parametrenin ilgili sonuç

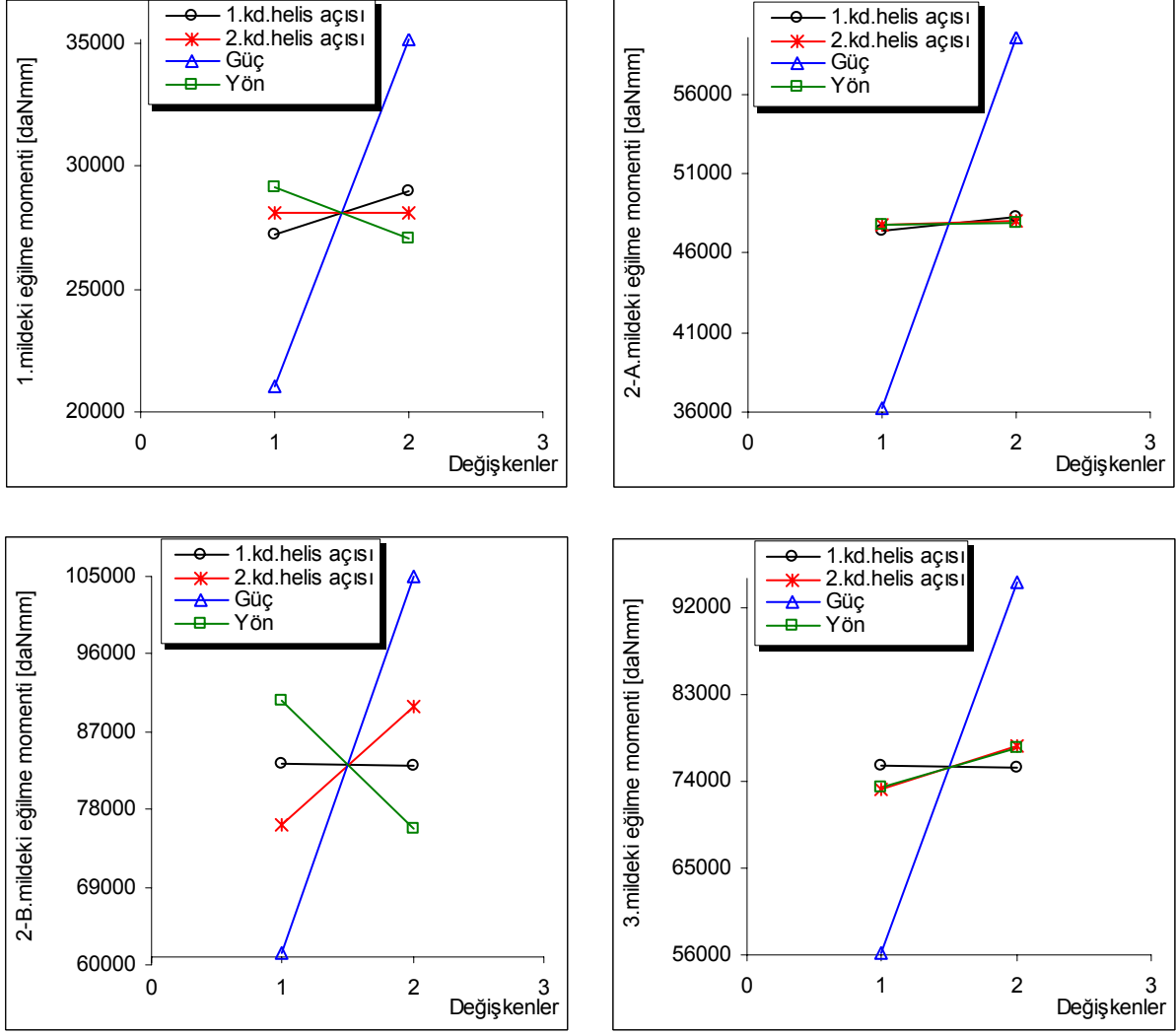
üzerindeki etkisi o derece büyüktür. Bunun tersi de doğrudur. Şekil 2’de bazı doğruların eğiminin pozitif, bazılarının ise negatif olduğu görülmektedir. Bu durum, ilgili doğrunun işaret ettiği değişimin aynı yönlü (eğim pozitif) yada ters yönlü (eğim negatif) olduğunu göstermektedir.

Şekil 2’de verilen grafikler aslında Tablo 4’de verilen değerlerin grafiksel gösterimleridir. Bu nedenle grafiklerin incelenmesinden elde edilecek sonuçlar ile yukarıda açıklanan sonuçlar aynıdır. Grafiklerin sağlamış olduğu fayda, boyutsal özellikler ile giriş değerleri arasındaki ilişkinin analitik olarak gösterilebilmesi ve ortalama değer analizi sonuçlarının pratik olarak elde edilebilmesidir.

Yukarıda açıklanan analizlere ilave olarak varyans analizi de yapılmış olup, bu analizde elde edilen sonuçlar EK-C’de verilmiştir.

4. SONUÇLAR

Dişli çark millerinde meydana gelen eğilme momentleri çalışma şartlarına ve konstrüktör tarafından seçilen parametrelere bağlı olarak değişir. Bu eğilme momentlerinin büyük olması, mil çaplarının büyük olmasına, maliyetin artmasına, dişli kutusunun ağırlığının ve hacminin büyümesine neden olur. Eğilme momenti büyüklüğü üzerinde en büyük etkiyi iletilen güç göstermekle birlikte, dişli kutusunun tasarımında etkili olan bazı parametrelerinde eğilme momenti büyüklüğü üzerinde etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Giriş parametrelerinin millerdeki eğilme momentleri üzerindeki etkisi

Bu çalışmada, eğilme momentleri üzerinde etkili olan bu parametrelerden bazılarının etki miktarları ve yönleri araştırılmış, böylece aynı güç iletimi için minimum eğilme momentinin oluşturulabileceği şartlar ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir;

1. Modüller ve millerdeki eğilme momentleri üzerinde en büyük etkiye sahip olan parametrenin güç olduğu ve güç ile tüm değişkenler arasındaki ilişkinin aynı yönlü olduğu,
2. Gücün sabit tutulduğu düşünülürse; 1. mildeki eğilme momenti üzerine en büyük etkiye sahip olan parametrenin dönme yönü, 2. milin A noktasındaki eğilme momenti üzerine en büyük etkiye sahip olan parametrenin 1. kademenin helis açısı, 2. milin B noktasındaki eğilme momenti üzerine en büyük etkiye sahip olan parametrenin 2. kademenin helis açısı, 3. mildeki eğilme momenti üzerine en büyük etkiye sahip olan parametrenin dönme yönü olduğu,
3. Dönme yönününün 1 olarak seçilmesi durumunda 1. ve 3. mildeki eğilme momentlerinin minimum olduğu,

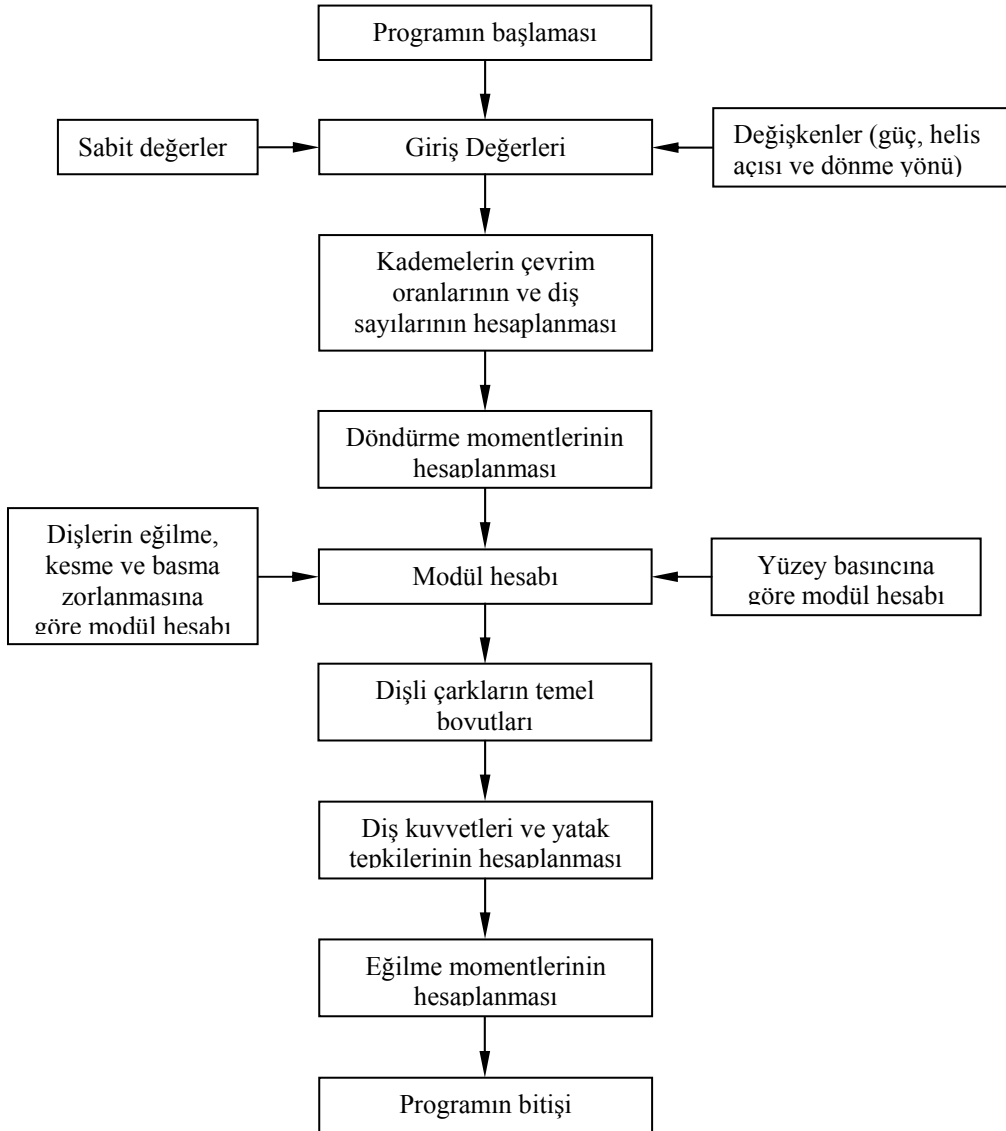
4. İncelenen parametreler arasında helis açılarının kontrol edilmesiyle 2. mildeki eğilme momentini minimum yapılabileceği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- [1] Erten, M., Özdemir, U., Dişli Kutusu Projesi Hesaplama Esasları, *Hava Harp Okulu Yayınları*, İstanbul, 2001.
- [2] Özdemir, U., İki Kademeli Helisel Dişli Kutusunun Autolisp Programlama ile Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Haziran 1998.
- [3] Çetinkaya, K., Başak, H., Uygulamalı Autolisp ve DCL Programlama, *Seçkin Yayınevi*, Ankara, 1999.
- [4] Çıkış, E., AutoLisp, Türkmen Kitapevi, İstanbul, 1994.

- [5] Baykal, G., AutoCAD 2002, Pusula Yayıncılık, İstanbul, 2002.
- [6] Autodesk, AutoLisp Programmers Reference, Autodesk Bv., Switzerland, 1992.
- [7] Dudley, D.W., Practical Gear Design, McGraw-Hill Book Company, New York, 1994.
- [8] Tuplin, W.A., Gear Design, The Machinery Publishing Company, New York, 1992.
- [9] Akkurt, M., Bilgisayar (excel) Destekli Uygulamalı İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1999.
- [10] Bayazıt, M. Ve Oğuz, B., Mühendisler için İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1992.
- [11] Şirvancı, M., Durmaz, M., "Variation reduction by the use of designed experiments" Quality Engineering, 5, 611-618,1993.

EK-A PROGRAM AKIŞ DİYAGRAMI



EK-B GİRİŞ DEĞERLERİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞEN ÇIKIŞ DEĞERLERİ

YÖN (°)	Giriş Değerleri			Çıkış Değerleri					
	Güç (kW)	1. kademenin helis açısı	2. kademenin helis açısı	1. kademenin modülü (mm)	2. kademenin modülü (mm)	1. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.A mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.B mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	3. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]
1	8	8	10	1,8354	2,6482	17008	29602	44177	46774
1	8	8	15	2,1010	3,0313	24133	41494	62815	67432
1	8	8	20	2,3124	3,3364	31011	52876	80846	87612
1	8	8	25	2,4909	3,5940	37721	63915	98468	107470
1	8	12	10	1,8354	2,5897	16983	29744	44635	51761
1	8	12	15	2,1010	2,9645	24098	41697	63473	74915
1	8	12	20	2,3124	3,2628	30965	53138	81698	97592
1	8	12	25	2,4909	3,5147	37665	64236	99511	119950
1	8	16	10	1,8354	2,5191	16958	29896	45147	56933
1	8	16	15	2,1010	2,8836	24062	41915	64209	82674
1	8	16	20	2,3124	3,1738	30918	53421	82653	107941
1	8	16	25	2,4909	3,4189	37608	64583	100681	132890
1	8	20	10	1,8354	2,4355	16931	30063	45734	62365
1	8	20	15	2,1010	2,7879	24023	42156	65054	90821
1	8	20	20	2,3124	3,0684	30868	53735	83750	118804
1	8	20	25	2,4909	3,3053	37546	64969	102025	146472
1	12	8	10	1,7949	2,6481	17649	29735	44393	46712
1	12	8	15	2,0547	3,0313	25085	41681	63138	67341
1	12	8	20	2,2614	3,3364	32271	53118	81275	87491
1	12	8	25	2,4360	3,5940	39290	64212	99003	107319
1	12	12	10	1,7949	2,5897	17624	29884	44864	51693
1	12	12	15	2,0547	2,9645	25048	41898	63814	74813
1	12	12	20	2,2614	3,2628	32224	53398	82152	97458
1	12	12	25	2,4360	3,5147	39231	64553	100079	119782
1	12	16	10	1,7949	2,5191	17598	30047	45388	56858
1	12	16	15	2,0547	2,8836	25011	42133	64570	82562
1	12	16	20	2,2614	3,1738	32175	53704	83134	107792
1	12	16	25	2,4360	3,4189	39172	64930	101283	132703
1	12	20	10	1,7949	2,4355	17570	30225	45989	62284
1	12	20	15	2,0547	2,7879	24970	42390	65436	90698
1	12	20	20	2,2614	3,0684	32123	54041	84260	118640
1	12	20	25	2,4360	3,3053	39108	65344	102663	146266
1	16	8	10	1,7460	2,6481	18322	30002	44624	46650
1	16	8	15	1,9986	3,0313	26082	42095	63482	67248
1	16	8	20	2,1998	3,3364	33591	53683	81734	87368
1	16	8	25	2,3696	3,5940	40932	64934	99576	107166
1	16	12	10	1,7460	2,5897	18295	30051	45106	51624
1	16	12	15	1,9986	2,9645	26044	42138	64178	74710
1	16	12	20	2,1998	3,2628	33542	53710	82637	97320
1	16	12	25	2,3696	3,5147	40871	64935	100684	119611
1	16	16	10	1,7460	2,5191	18269	30225	45643	56782
1	16	16	15	1,9986	2,8836	26005	42390	64953	82448
1	16	16	20	2,1998	3,1738	33492	54040	83646	107639
1	16	16	25	2,3696	3,4189	40809	65342	101922	132513
1	16	20	10	1,7460	2,4355	18240	30414	46258	62200
1	16	20	15	1,9986	2,7879	25963	42666	65841	90572
1	16	20	20	2,1998	3,0684	33437	54400	84800	118472
1	16	20	25	2,3696	3,3053	40742	65787	103339	146056
1	20	8	10	1,6880	2,6481	19040	30358	44871	46583
1	20	8	15	1,9322	3,0313	27145	42652	63853	67148
1	20	8	20	2,1267	3,3364	34997	54450	82228	87235

Dişli Kutusunun Parametrik Tasarımında; Dönme Yönü, Güç Ve Helis Açısı Değişiminin Millerdeki Eğilme Momentine Etkisinin İstatistiksel Analizi

YÖN (°)	Giriş Değerleri			Çıkış Değerleri					
	Güç (kW)	1. kademenin helis açısı	2. kademenin helis açısı	1. kademenin modülü (mm)	2. kademenin modülü (mm)	1. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.A mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.B mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	3. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]
1	20	8	25	2,2909	3,5940	42679	65918	100195	107000
1	20	12	10	1,6880	2,5897	19012	30351	45365	51549
1	20	12	15	1,9322	2,9645	27105	42617	64567	74599
1	20	12	20	2,1267	3,2628	34946	54382	83157	97172
1	20	12	25	2,2909	3,5147	42616	65813	101336	119426
1	20	16	10	1,6880	2,5191	18984	30439	45915	56700
1	20	16	15	1,9322	2,8836	27065	42701	65363	82325
1	20	16	20	2,1267	3,1738	34893	54445	84193	107475
1	20	16	25	2,2909	3,4189	42552	65841	102608	132308
1	20	20	10	1,6880	2,4355	18954	30639	46544	62110
1	20	20	15	1,9322	2,7879	27021	42995	66271	90437
1	20	20	20	2,1267	3,0684	34837	54831	85376	118291
1	20	20	25	2,2909	3,3053	42482	66317	104061	145830
2	8	8	10	1,8354	2,6482	16376	29573	45093	42151
2	8	8	15	2,1010	3,0313	23161	41459	64246	60367
2	8	8	20	2,3124	3,3364	29692	52838	82806	78072
2	8	8	25	2,4909	3,5940	36052	63878	100969	95433
2	8	12	10	1,8354	2,5897	16355	29729	46768	44743
2	8	12	15	2,1010	2,9645	23130	41646	66788	64187
2	8	12	20	2,3124	3,2628	29652	53046	86225	83105
2	8	12	25	2,4909	3,5147	36004	64098	105271	101669
2	8	16	10	1,8354	2,5191	16333	29913	48792	47429
2	8	16	15	2,1010	2,8836	23099	41905	69867	68143
2	8	16	20	2,3124	3,1738	29612	53377	90372	88315
2	8	16	25	2,4909	3,4189	35954	64499	110496	108123
2	8	20	10	1,8354	2,4355	16309	30136	51207	50252
2	8	20	15	2,1010	2,7879	23065	42222	73543	72296
2	8	20	20	2,3124	3,0684	29568	53783	95324	93782
2	8	20	25	2,4909	3,3053	35901	64993	116733	114890
2	12	8	10	1,7949	2,6481	16692	29809	44816	42114
2	12	8	15	2,0547	3,0313	23611	41830	63820	60313
2	12	8	20	2,2614	3,3364	30271	53351	82228	78003
2	12	8	25	2,4360	3,5940	36757	64538	100238	95348
2	12	12	10	1,7949	2,5897	16671	29839	46433	44712
2	12	12	15	2,0547	2,9645	23581	41818	66272	64142
2	12	12	20	2,2614	3,2628	30233	53313	85525	83048
2	12	12	25	2,4360	3,5147	36711	64471	104386	101600
2	12	16	10	1,7949	2,5191	16649	30035	48401	47404
2	12	16	15	2,0547	2,8836	23550	42075	69267	68108
2	12	16	20	2,2614	3,1738	30194	53591	89560	88271
2	12	16	25	2,4360	3,4189	36663	64757	109469	108070
2	12	20	10	1,7949	2,4355	16626	30272	50765	50233
2	12	20	15	2,0547	2,7879	23517	42411	72865	72271
2	12	20	20	2,2614	3,0684	30151	54025	94408	93751
2	12	20	25	2,4360	3,3053	36612	65285	115577	114854
2	16	8	10	1,7460	2,6481	17026	30161	44540	42076
2	16	8	15	1,9986	3,0313	24088	42388	63394	60259
2	16	8	20	2,1998	3,3364	30886	54124	81652	77932
2	16	8	25	2,3696	3,5940	37506	65533	99509	95261
2	16	12	10	1,7460	2,5897	17006	30126	46093	44680
2	16	12	15	1,9986	2,9645	24059	42307	65750	64097

YÖN (*)	Giriş Değerleri			Çıkış Değerleri					
	Güç (kW)	1. kademenin helis açısı	2. kademenin helis açısı	1. kademenin modülü (mm)	2. kademenin modülü (mm)	1. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.A mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	2.B mildeki max. eğilme momenti [daNmm]	3. mildeki max. eğilme momenti [daNmm]
2	16	12	20	2,1998	3,2628	30849	53993	84818	82990
2	16	12	25	2,3696	3,5147	37461	65347	103492	101529
2	16	16	10	1,7460	2,5191	16985	30165	48002	47378
2	16	16	15	1,9986	2,8836	24029	42256	68654	68072
2	16	16	20	2,1998	3,1738	30811	53886	88731	88226
2	16	16	25	2,3696	3,4189	37415	65191	108421	108016
2	16	20	10	1,7460	2,4355	16963	30414	50311	50214
2	16	20	15	1,9986	2,7879	23998	42612	72169	72245
2	16	20	20	2,1998	3,0684	30770	54281	93467	93719
2	16	20	25	2,3696	3,3053	37365	65594	114389	114818
2	20	8	10	1,6880	2,6481	17391	30651	44263	42035
2	20	8	15	1,9322	3,0313	24606	43164	62967	60200
2	20	8	20	2,1267	3,3364	31552	55199	81073	77855
2	20	8	25	2,2909	3,5940	38317	66916	98777	95167
2	20	12	10	1,6880	2,5897	17371	30570	45748	44646
2	20	12	15	1,9322	2,9645	24578	43013	65218	64048
2	20	12	20	2,1267	3,2628	31517	54972	84097	82927
2	20	12	25	2,2909	3,5147	38273	66610	102579	101453
2	20	16	10	1,6880	2,5191	17351	30499	47592	47351
2	20	16	15	1,9322	2,8836	24550	42875	68023	68033
2	20	16	20	2,1267	3,1738	31480	54762	87876	88178
2	20	16	25	2,2909	3,4189	38229	66323	107342	107958
2	20	20	10	1,6880	2,4355	17329	30566	49840	50193
2	20	20	15	1,9322	2,7879	24519	42826	71446	72217
2	20	20	20	2,1267	3,0684	31441	54580	92490	93685
2	20	20	25	2,2909	3,3053	38181	66069	113156	114778

(*) 1 numaralı dönme yönü pinyonun solundan bakıldığında saatlerin dönme yönü, 2 numaralı dönme yönü ise bunun tersidir.

EK-C VARYASYON ANALİZİ

Varyasyon analizi ikiden daha çok kütle ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla kullanılır. Bu yöntemle, toplam değişmeye katkıda bulunan değişkenler arası etkileşim ve deneysel hatalar incelenir. Tek yönlü ve çift yönlü olarak uygulanabilir.

Tek yönlü varyans analizi elle yapılabilirken, çift yönlü varyans analizi için bilgisayar programı kullanılmalıdır. Varyans analizi güç ile birinci mildeki eğilme momenti için yapılmıştır.

Genel kareler toplamı :

$$GKT = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{\sum n} = 1,093 \times 10^{11} - \frac{3596285^2}{128} = 8259735138$$

Gruplar arası kareler toplamı :

$$GAKT = \sum_{i=1}^k \left[\frac{(\sum x_j)^2}{n_j} \right] - \left[\frac{(\sum x)^2}{n} \right]$$

$$GAKT = \left[\frac{556868^2}{32} + \frac{789998^2}{32} + \frac{1014966^2}{32} + \frac{1234424^2}{32} \right] - \frac{3596258^2}{128}$$

$$GAKT = 7965395279$$

Grup içi kareler toplamı

$$GIKT = GKT - GAKT = 8259735138 - 7965395279 = 294339859$$

Genel serbestlik derecesi=128-1=127 (GSD)

Gruplar arası serbestlik derecesi=4-1=3 (GASD)

Grup içi serbestlik derecesi=128-4=124 (GISD)

Gruplar arası kareler ortalaması

$$GAKO = \frac{GAKT}{GASD} = \frac{7965395279}{3} = 2655131760$$

Grup içi kareler ortalaması

$$GIKO = \frac{GIKT}{GISD} = \frac{294339859}{124} = 2373708$$

Varyasyon kaynağı (VK)	Kareler toplamı (KT)	Serbestlik derecesi (SD)	Kareler ortalaması (KO)
Genel (Gn)	8259735138	127	-
Gruplar arası (GA)	7965395279	3	2655131760
Grup içi (GI)	294339859	124	2373708

Hipotezler :

H0 ise gruplar arası fark yoktur.

H1 ise gruplar arası fark vardır.

Test istatistiği olarak F istatistiği kullanılır. Buna göre:

$$F = \frac{GAKO}{GIKO} = \frac{2655131760}{2373708} = 1118,6$$

Güven düzeyi $\alpha=0.05$ seçilmiştir. F tablo değeri $F=4,08$ bulunur. $1118,6 > 4,08$ olduğu için (hesap değeri > tablo değeri) H0 reddedilir. Yani gruplar arasında anlamlı bir fark vardır. Yapılan diğer istatistiksel analizlerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

CNC tezgahlar, takım tezgahları, talaşlı imalat ve makina elemanlarıdır.

ÖZGEÇMİŞ

Hv.Dr.Müh.Yzb. Ufuk ÖZDEMİR

Ufuk ÖZDEMİR, 28 Eylül 1972 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra, 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1998 yılında aynı üniversitede yüksek lisans eğitimini tamamladı. 1994 yılından itibaren muvazzaf subay olarak Hava Harp Okulu Dekanlığında görev yapmakta olup, 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde doktora eğitimini tamamlamıştır. İlgilendiği konular CAD-CAM,