

İKİ KADEMELİ DİŞLİ KUTUSUNDA ÇEVİRİM ORANI PAYLAŞTIRILMASI

Muzaffer ERTEN¹, Ufuk ÖZDEMİR²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Gümüşsuyu-İSTANBUL

ertenm@itu.edu.tr

²Hava Harp Okulu Dekanlığı, Havacılık Mühendisliği Bölümü, Yeşilyurt-İSTANBUL

u.ozdemir@hho.edu.tr

Özet

Bu çalışmada iki kademeli hız küçültücü dişli kutusunun (redüktörün) toplam çevrim oranı, dişli kutusunun hacmi, alanı ve ağırlığı bakımlarından en uygun olacak şekilde paylaştırılarak, her kademe için ideal çevrim oranının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada dikkate alınan dişli kutusu iki kademeli olup, her kademenin de düz dişli çarklı, her iki kademenin de helisel dişli çarklı ve birinci kademenin düz ikinci kademenin helisel dişli çarklı olması durumu için ayrı ayrı inceleme yapılmıştır. Bu inceleme için AutoCAD ve AutoLisp kullanılarak hazırlanmış bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımda güç, her kademenin çevrim oranı ve dişli çarkların tipi (düz ve/veya helisel) sistematik olarak değiştirilerek, bu değişimlerin dişli kutusunun toplam ağırlığı, dişli çarkların toplam ağırlığı, dişli kutusunun boyutları ve hacim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu inceleme sırasında dişli kutusu boyutlarını etkileyen dişli çark malzemeleri, mil malzemeleri, rulman ve dişli verimleri, emniyet katsayıları vb. diğer parametreler sabit tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda dişli kutusunun boyutlarını, hacmini ve ağırlığını minimum yapan çevrim oranları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Dişli kutusu (redüktör), çevrim oranı, ağırlık, hacim, düz ve helisel dişli çarklar

Abstract

In this study, it is aimed to determine the ideal reduction ratio for each reduction level in order to achieve optimum gear box volume, area and weight for a double reduction gear box.

Different gear pair types is used for reductions in that gear box such as spur+spur gears, helical+helical gears, spur gears in first reduction and helical gears in second reduction. A software which is written by using AutoLisp and AutoCAD programmes are used for this research. Input power, reduction ratios of both reductions, and type of gear pairs are changed systematically in order to get the effects on total weight of the gear boxes, total weight of the gear wheels, main dimensions and volume of the gear boxes. During this examination other parameters affecting gear box sizes such as gear materials, shaft materials, bearing and gear efficiencies etc. are kept constant. At the end of this research reduction ratios which minimizing gear box dimensions, volume and weight are given as an outcome.

Key Words: Gear Box, Reduction Ratio, Weight, Volume, Spur and Helical Gears

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi toplam çevrim oranı 5...8 den büyük olan dişli çark mekanizmalarında, ikinci dişli çarkın çapı çevrim oranına bağlı olarak büyüdüğünden tek kademeli yapmak yerine özellikle kutu hacmini uygun değerlerde tutabilmek için çok kademeli redüksiyon yapmak suretiyle dişli çark boyutları ve kutu boyutlarını uygun değerlere getirmek tercih edilmektedir [1-8]. Bu durumda toplam çevrim oranı her kademedeki çevrim oranlarının çarpımıdır. Örneğin iki kademeli hız küçültücü bir dişli kutusunda (redüktörde) n_g giriş devir sayısı, n_c çıkış devir sayısı, i_{top} toplam çevrim oranı, i_{12} birinci kademenin çevrim oranı ve i_{34} ikinci kademenin çevrim oranı olmak üzere $n_g / n_c = i_{top} = i_{12} \cdot i_{34}$ olacaktır. Bilinmeyen adedi bir fazla olduğundan çevrim oranlarından birisinin seçilmesi gerekmektedir. Genelde bu seçim tecrübelerle veya ampirik bağıntılara bağlı olarak yapılmaktadır [4]. Bu çalışmada; iki kademeli dişli kutusunun parametrik tasarımını yapmak üzere AutoCAD altında çalışan AutoLisp kullanılarak hazırlanmış bir yazılım kullanılarak, dişli kutusu ağırlığını ve hacmini minimum yapan her kademe için ideal çevrim oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dişli kutusunu oluşturan iki kademenin helisel+helisel, düz+düz ve düz+helisel olması üzere üç farklı durumu dikkate alınmıştır. Hazırlanmış olan yazılımla farklı giriş değerleri için iki kademeli dişli kutusunun tasarımı yapılarak tüm boyutları hesaplanmıştır. Bu hesaplardan elde edilen boyutlarla farklı giriş değerleri ilişkilendirilerek dişli kutusu boyutlarını, ağırlığını ve hacmini minimum yapan çevrim oranları belirlenmiş, ayrıca farklı güç değerleri için dişli kutusunun ağırlık ve hacminde meydana gelen değişimler de incelenmiş, regresyon analizi sonucunda dişli kutusu ağırlık ve hacmini minimum yapan çevrim oranı paylaştırması toplam çevrim oranına bağlı olarak verilmiştir.

Niemann [4], çok kademeli dişli kutularında minimum hacim ve eşit mukavemet elde edilebilmesi için birinci kademenin çevrim oranını diş dibi mukavemetine bağlı olarak ampirik olarak hesaplamış ve hesaplama sonuçlarını bir diyagram ve bağıntı halinde vermiştir. Bu diyagramla dişli kutusu hacmini minimum yapan birinci kademenin çevrim oranı verilmiş ve ikinci kademenin çevrim oranının hesapla belirlenmesi tavsiye edilmiştir. Niemann tarafından verilen ampirik bağıntı

$$i_{12} = 0,8 \sqrt[3]{i_{top}^2 \frac{k_I}{k_{II}}} \quad (1)$$

dir. Bu eşitlikte i_{12} birinci kademenin çevrim oranını, i_{top} toplam çevrim oranını, k_I sertleştirilmiş dişliler için birinci dişlinin diş dibi mukavemeti ve k_{II} ikinci dişlinin diş dibi mukavemetidir. Dişli çark genişlikleri ve form faktörleri oranları göz önüne alınarak kaba bir hesap yapıldığında bu bağıntı yaklaşık olarak $i_{12} = 0,85 i_{top}^{2/3}$ olmaktadır. Niemann, dişli kutusu hacmi üzerinde sadece dişlilerin etkisini dikkat almış, örneğin dişli tiplerinin, millerin mukavemet, titreşim, şekil değişimi vb. gibi diğer bazı faktörlerin etkisini ihmal etmiştir. Dişli kutusu hacminin belirlenmesinde en etkili faktör dişli çark boyutları olmakla birlikte, başka faktörler de bu hacim üzerinde etkilidir. Bu çalışmada, farklı giriş şartları için dişli kutusunu oluşturan tüm elemanların boyutlandırılması, titreşim ve şekil değişimi kontrolleri yapılarak, hacim ve ağırlık üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. BOYUTLANDIRMA VE YAZILIMIN YAPISI

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. Yazım formatına uygun olarak hazırlanmış herhangi bir AutoLisp dosyası, AutoCAD programı içinde çalıştırılarak kullanılır.

İki Kademeli dişli kutusunun boyutlandırmasını yapan yazılımın [9-13] çalıştırılması sırasında toplam çevrim oranı sabit olmak üzere her kademelerin çevrim oranı, güç ve dişlilerin tipi (düz+düz, düz+helisel veya helisel+helisel) giriş değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Toplam çevrim oranı örnek olarak 15 alınmış, daha sonra 10 ve 20 için işlemler tekrarlanmış, her birinci kademelerin çevrim oranı toplam çevrim oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Bu sırada hesaplamalarda, kademelere ait dişli çarkların diş sayısının tam sayı olma zorunluluğu nedeniyle, toplam çevrim oranı az da olsa 15'ten farklı gerçekleşmişse de, çevrim oranındaki sapma % 0,1'den büyük olmamıştır. Buna göre çevrim oranının 7 farklı kombinasyonu, dişli tiplerinin 3 farklı tipi ve gücün 4 farklı değeri olmak üzere toplam $7 \times 3 \times 4 = 84$ adet giriş şartı belirlenmiştir. Giriş değişkenleri Çizelge 1'de toplu olarak verilmiştir. Dişli kutusunun tasarımında bazı değişkenler (malzeme, emniyet katsayıları, verim, çalışma faktörleri vb.) ihtiyaçlara göre tasarımcı tarafından seçilir. Bu değerler Çizelge 2'de toplu olarak verilmiş olup, yazılımın çalıştırılması sırasında bu değişkenlere ait değerler sabit tutulmuştur. Çizelge 1'de verilen giriş değişkenlerinin kombinasyonu ile oluşturulan giriş şartları kullanılarak yazılım çalıştırılmış ve dişli kutusunun boyutları (boyu, uzunluğu, maksimum yüksekliği), dişlilerin toplam ağırlığı, dişli kutusunun toplam ağırlığındaki değişimler izlenmiştir. Şekil 1'de dişli kutusunun biçimi, dişlilerin yerleştirilme durumu ve hesaplanan temel boyutlar verilmiştir.

Çizelge 1. Giriş değişkenlerinin değişim değerleri

Giriş Değişkeni	Değişim Sayısı	Değerleri
Çevrim oranları $i_{12} \times i_{34} = i_{top}$	7	1,936x7,748=15 2,904x5,165=15 3,873x3,873=15 4,850x3,093=15 5,809x2,582=15 6,777x2,214=15 7,748x1,936=15
Kademelerdeki dişli tipleri	3	düz+düz düz+helisel helisel+helisel
Güç (kW)	4	5-7,5-10-12,5

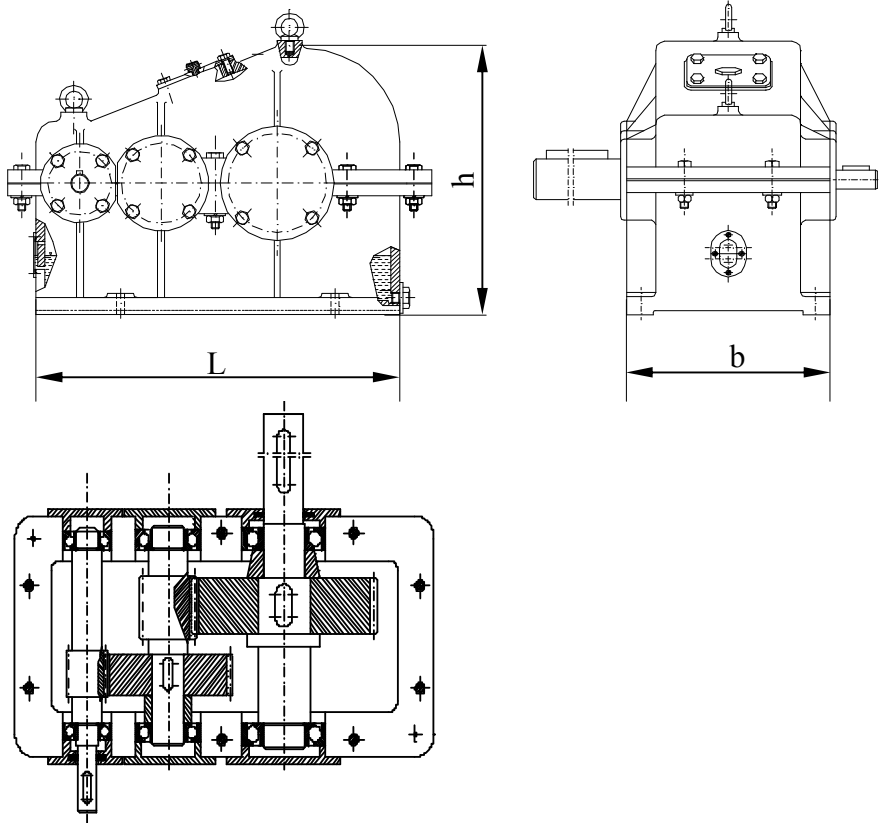
3. DEĞERLENDİRME

3.1 Sabit Güce Göre Minimum Ağırlık ve Hacim

Kademelerin çevrim oranları değişiminin boyutlar ve ağırlık üzerindeki etkisini inceleyebilmek için, önce sabit güç altında ($P=5$ kW) kademelerin çevrim oranları değiştirilmiştir. Çevrim oranları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerler kullanılarak dişli kutusunun üç farklı (düz, helisel ve karma) durumu için dişli kutusunun boyutları, ağırlığı ve hacmi hesaplanmıştır. Dişli kutusunun her iki kademesinin düz dişli çarktan oluşması durumunda, birinci kademelerin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak elde edilen hacim değişimi şekil 2'de, ağırlık değişimi ise şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Sabit tutulan değişkenler

Değişken	Değeri	Değişken	Değeri
Giriş devir sayısı (d/d)	1500	Mil malzemesi	St50
Çıkış devir sayısı (d/d)	100	Kama malzemesi	St50
Pinyonların diş sayısı	19	Çökme emniyet değeri	0,0005xL
Rulmanların verimi	0,999	Eğim açısı emniyet değeri (rad)	0,001
Dişli çarkların verimi	0,98	Burulma açısı emn. değeri ($^{\circ}/m$)	1
Motor çalışma faktörü	1,25	Eğilme titr. sınırları (ω/ω_o)	0,8>x, x>1,2
Makina çalışma faktörü	1,25	Burulma titr. emn. sınırları	0,8>x, x>1,2
Genişlik faktörü	1	Rulman tipi	bilyalı
Dinamik faktör	1	Rulman ömrü (saat)	12000
Helis eğim açısı ($^{\circ}$)	18	Malzeme elastiklik faktörü	85,7
Tüm dişli çarkların malzemesi	16MnCr5	Pinyonun yüzey sertliği (HB)	650
Yorulma emniyet katsayısı	1,5	Çarkların yüzey sertliği (HB)	600
Yüzey basıncı emn.katsayısı	1,3	Yuvarlanma noktası faktörü	1,76

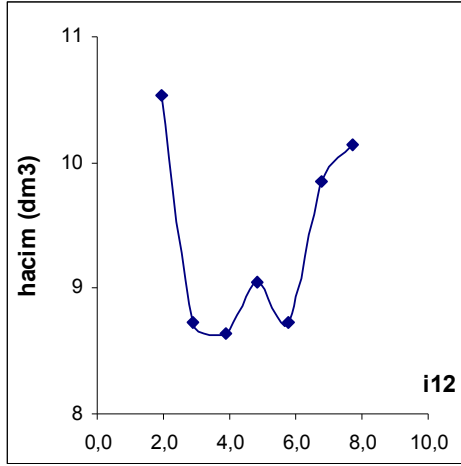


Şekil 1. Dişli kutusunun biçimi ve hesaplanan boyutlar

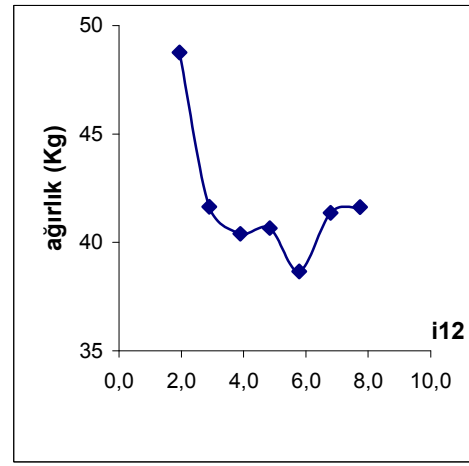
Şekil 2 incelendiğinde birinci kademenin çevrim oranının $i_{12}=3,895$ olması durumunda dişli kutusunun hacminin minimum ve $i_{12}=5,789$ olması durumunda minimuma çok yakın olduğu, Şekil 3 incelendiğinde ise birinci kademenin çevrim oranının $i_{12}=5,789$ olması durumunda dişli kutusu ağırlığının minimum olduğu görülmektedir. Bu durumda, hacmi minimum yapan iki değer arasında fazla fark olmaması ve hesaplamaların pratikleştirilmesi adına

$i_{12}=5,789$ değeri için ağırlık ve hacmin minimum olduğu kabul edilebilir. Bu çevrim oranına karşılık gelen ikinci kademe çevrim oranı ise $i_{34}=2,579$ 'dır.

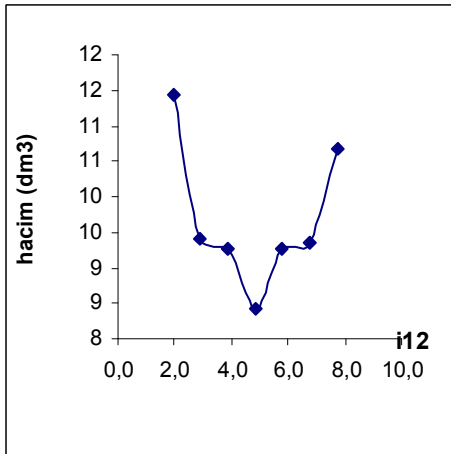
Dişli kutusunun ilk kademesinin düz dişli çark, ikinci kademesinin helisel dişli çark olması durumunda birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak elde edilen hacim değişimi Şekil 4'te, ağırlık değişimi ise Şekil 5'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, birinci kademenin çevrim oranının $i_{12}=4,842$ olması durumunda dişli kutusunun hem hacminin hem ağırlığının minimum olduğu görülmektedir. Bu durumda, ikinci kademenin çevrim oranı $i_{34}=3,105$ olmaktadır. Dişli kutusunu oluşturan kademelerdeki dişli çarkların tipinin değişmesiyle birlikte, çevrim oranı-ağırlık ve çevrim oranı-hacim ilişkisinin değiştiği görülmektedir.



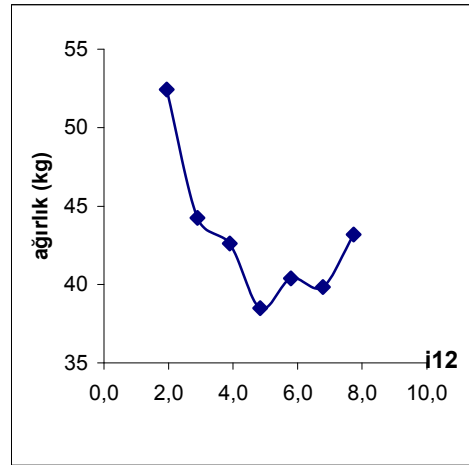
Şekil 2. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (her iki kademe düz)



Şekil 3. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (her iki kademe düz)



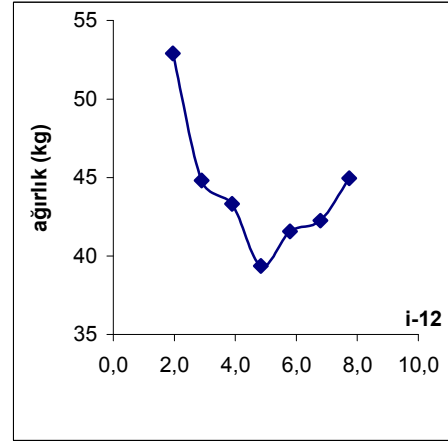
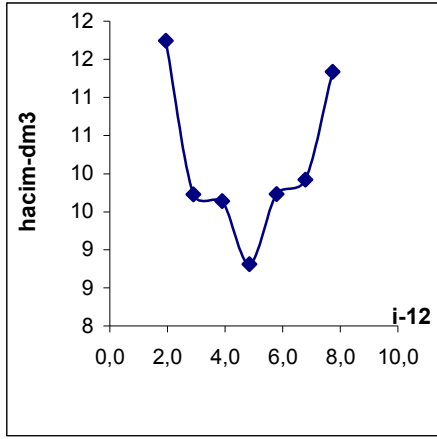
Şekil 4. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (birinci kademe düz, ikinci kademe helisel)



Şekil 5. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (birinci kademe düz, ikinci kademe helisel)

Dişli kutusunun her iki kademesinin de helisel dişli çark olması durumunda birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak elde edilen hacim değişimi Şekil 6'da, ağırlık değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, birinci kademenin çevrim oranının $i_{12}=4,842$ olması durumunda dişli kutusunun hem hacminin hem ağırlığının minimum olduğu görülmektedir. Bu durumda ikinci kademenin çevrim oranı yine $i_{34}=3,105$ olmaktadır.

Yukarıda anlatılan esaslara göre, dişli kutusundaki dişli tiplerine bağlı olarak, dişli kutusu ağırlığını ve hacmini minimum yapan birinci kademe çevrim oranları Çizelge 3'te (i_{12}) toplu olarak verilmiştir. Birinci kademe çevrim oranı bu çizelgeden seçildikten sonra, ikinci kademe çevrim oranı (i_{34}) hesaplanabilir. Niemann'a göre minimum hacim için yaklaşık paylaştırma yapıldığında ise $i_{12} = 5,17$ ve $i_{12} = 1,33 i_{top}^{1/2}$ bulunmaktadır.



Şekil 6. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (her iki kademe helisel)

Şekil 7. Birinci kademenin çevrim oranına (i_{12}) bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (her iki kademe helisel)

Çizelge 3. Birinci kademe çevrim oranı (i_{12})

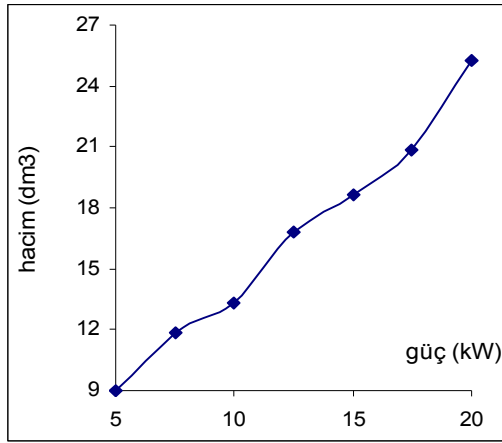
Dişli (MEKANİZMASININ) Tipi	Minimum Ağırlık	Minimum Hacim
	Çevrim oranı	Çevrim oranı
helisel+helisel	$i_{12}=1,25(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,25(i_{top})^{1/2}$
düz+helisel	$i_{12}=1,25(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,25(i_{top})^{1/2}$
düz+düz	$i_{12}=1,495(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,495(i_{top})^{1/2}$

3.2 Güç Değişimine Bağlı Olarak Hacim ve Ağırlığın Değişimi

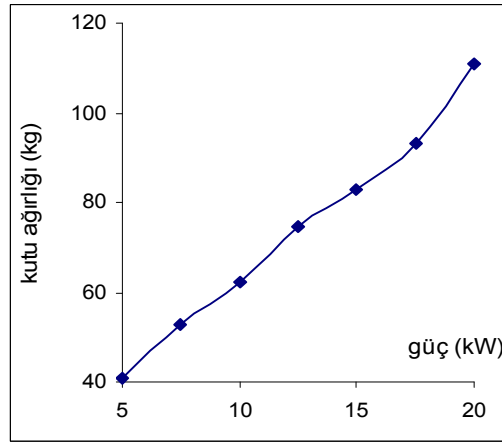
Dişli kutusu kademelerinin tipine göre ağırlık ve hacim değişimlerinin incelenmesi sabit güce ($P=5$ kW) göre yapılmıştır. Gücün değişimiyle birlikte dişli kutusunun ağırlığı ve hacmi de değişecektir. Ağırlık ve hacimdeki değişim miktarı dişli kutusunu oluşturan kademelerin tipine göre farklıdır. Her iki kademenin düz dişli çarktan oluşması durumunda güce göre hacmin değişimi şekil 8'de ve ağırlığın değişimi şekil 9'da, kademelerden birinin düz diğerinin helisel olması durumunda güce göre hacmin değişimi şekil 10'da ve ağırlığın değişimi şekil 11'de, her iki kademenin helisel dişli çarktan oluşması durumunda güce göre hacmin değişimi şekil 12'de ve ağırlığın değişimi şekil 13'te verilmiştir. Güç değişimleri incelemesinin tamamı $P=5$ kW'lık giriş gücü için dişli kutusu ağırlığı ve hacmini minimum yapan çevrim oranı değerleri için hesaplanmıştır.

$P=5$ kW'lık giriş gücü için dişli kutusu ağırlığı ve hacmini minimum yapan çevrim oranında, farklı güçler için dişli kutusu tipine bağlı olarak hesaplanmış hacim ve ağırlık değişimleri şekil 14 ve şekil 15'te toplu olarak verilmiştir. Düz yada helisel dişli çiftlerinden

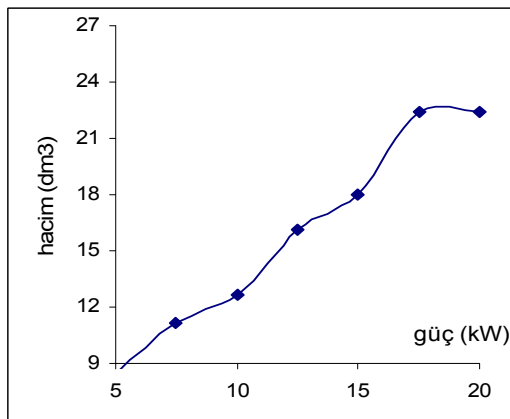
oluşan dişli kutusunda, güce göre ağırlık ve hacmin değişimi sinüsoidal yapıdadır. Bu nedenle belli güç aralığı için düz dişlide minimum ağırlık ve hacim sağlanırken, belli güç aralıklarında da helisel dişli için minimum ağırlık ve hacim sağlanabilmektedir. Bununla birlikte karma dişlilerden oluşan dişli kutusunda ağırlık ve hacmin güce göre değişimi belli bir güç değerine kadar yaklaşık lineer karakterde olup, yaklaşık sinüsoidal eğrilerin ortasından geçmektedir. Bu nedenle karma dişli çiftinden oluşan dişli kutusunda gücün ağırlık ve hacim üzerindeki etkisi, düz dişliden ve helisel dişliden oluşmuş dişli kutusundan elde edilen değerlerin ortalaması gibidir. Güç ile ağırlık ve hacim değişiminin lineer (en küçük kareler yöntemi) regresyon analizi yapılmış ve her bir durum için elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te toplu olarak verilmiştir. Çizelgede verilen modeller incelendiğinde; gücün en çok düz+helisel dişli çarktan oluşan dişli kutusunun hacmi üzerinde etkili olduğu ve en az helisel+helisel dişli çarktan oluşan dişli kutusunun hacmi üzerinde etkili olduğu görülür. Gücün, dişli kutusunun ağırlığı ile ilişkisinde de benzer durum söz konusudur. Çizelgenin oluşturulmasında dikkate alınan çevrim oranları (ağırlık ve hacmi minimum yapan çevrim oranları) için, herhangi bir güç değerine bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığı ve hacmi çizelgede ilgili satır kullanılarak hesaplanabilir. Bu hesaplamada yapılan hata ilgili modelin yanında verilen hata yüzdesi kadardır.



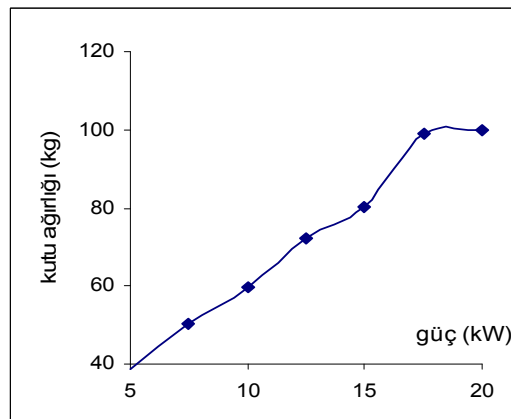
Şekil 8. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (her iki kademe düz)



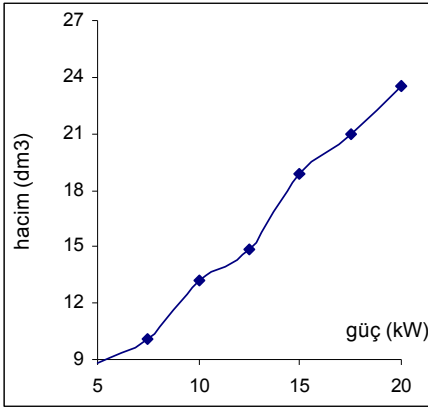
Şekil 9. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (her iki kademe düz)



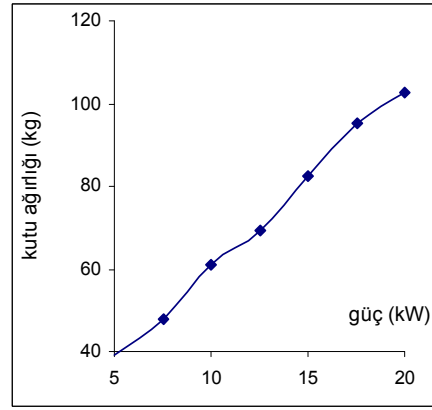
Şekil 10. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (düz+helisel)



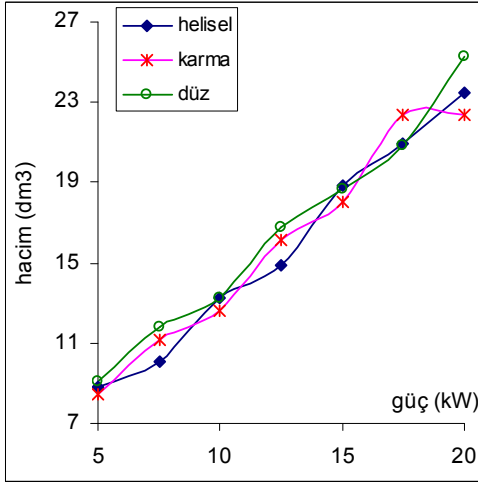
Şekil 11. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (düz+helisel)



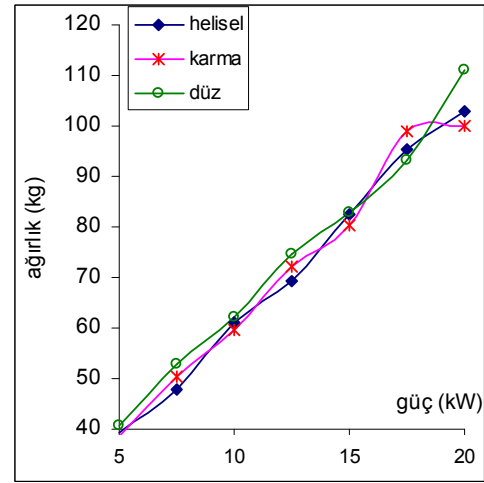
Şekil 12. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun hacminin değişimi (her iki kademe helisel)



Şekil 13. Güç değişimine bağlı olarak dişli kutusunun ağırlığının değişimi (her iki kademe helisel)



Şekil 14. Güç ve dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu hacminin değişimi



Şekil 15. Güç ve dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu ağırlığının değişimi

Çizelge 4. Güç ve dişli tipine bağlı olarak dişli kutusu hacim ve ağırlık değişimleri
Toplam Çevrim Oranı = 15 için

Dişli tipi	Hacim (V) [dm³]		Ağırlık (G) [kg]	
	Model	Hata* (%)	Model	Hata (%)
helisel+helisel	$V=0,98582P+4,04657$	0,146	$G=4,50304 P+17,96900$	0,410
düz+helisel	$V=1,08978P+3,16214$	0,165	$G=4,73875 P+15,96686$	0,460
düz+düz	$V=1,00250P+3,88843$	0,124	$G=4,45486 P+18,35414$	0,290

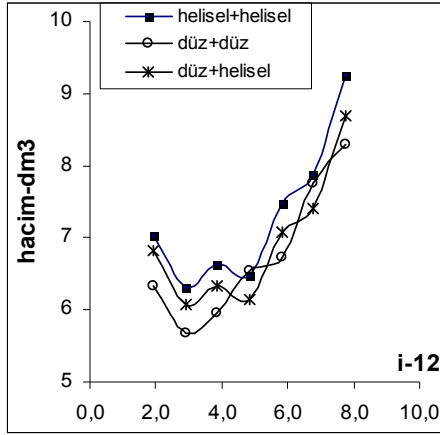
P: güç [kW], Hata*: regresyon analizi sonucu bulunan hata

Toplam Çevrim Oranı = 10 için

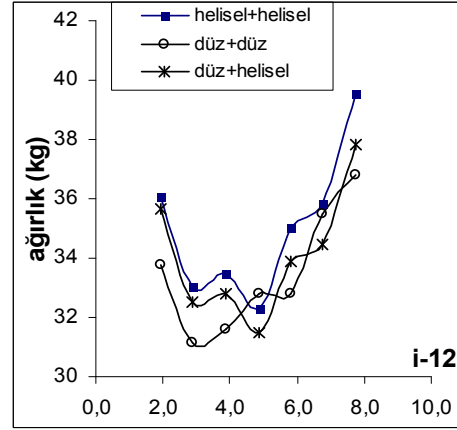
Dişli tipi	Minimum Ağırlık	Minimum Hacim
	Çevrim oranı	Çevrim oranı
helisel+helisel	$i_{12}=1,534(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=0,918(i_{top})^{1/2}$
düz+helisel	$i_{12}=1,534(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=0,918(i_{top})^{1/2}$
düz+düz	$i_{12}=0,918(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=0,918(i_{top})^{1/2}$

Toplam Çevrim Oranı = 20 için

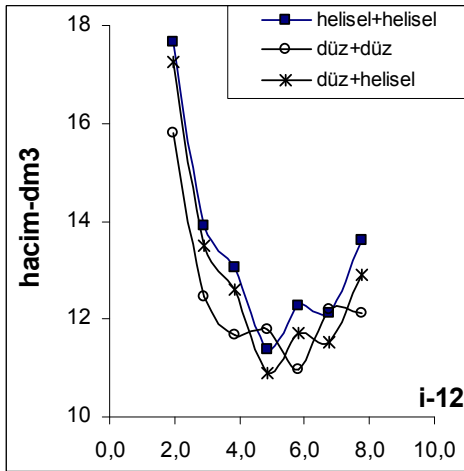
Dişli tipi	Minimum Ağırlık	Minimum Hacim
	Çevrim oranı	Çevrim oranı
helisel+helisel	$i_{12}=1,085(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,085(i_{top})^{1/2}$
düz+helisel	$i_{12}=1,515(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,085(i_{top})^{1/2}$
düz+düz	$i_{12}=1,298(i_{top})^{1/2}$	$i_{12}=1,298(i_{top})^{1/2}$



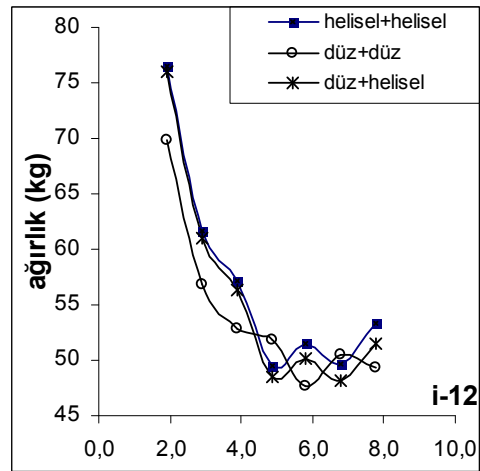
Şekil 16. $i_{top}=10$ için dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu hacminin değişimi



Şekil 17. $i_{top}=10$ için dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu ağırlığının değişimi



Şekil 18. $i_{top}=20$ için dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu hacminin değişimi



Şekil 19. $i_{top}=20$ için dişli kutusu tipine bağlı olarak dişli kutusu ağırlığının değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada değişik tiplerde dişli çarklara sahip iki kademeli dişli kutusunun toplam çevrim oranının, dişli kutusunun hacmi ve ağırlığı bakımlarından en uygun olacak şekilde paylaştırılarak, her kademe için ideal çevrim oranının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda,

- Dişli kutusu ağırlığını ve hacmini minimum yapan birinci kademe çevrim oranının dişli kutusunu oluşturan dişli çark tiplerine, güce ve toplam çevrim oranına bağlı olarak değiştiği,
- Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçların, dişli kutusu üreticileri tarafından verilen ağırlık ve hacim değerleri ile uyumlu [14] ve Niemann tarafından tavsiye edilen değerler arasında olduğu görülmüştür. Bu çalışmada dişli kutusu boyutlarını etkileyen pek çok parametre sabit tutulmuştur. Bu konuda yapılacak benzer çalışmalarda, sabit tutulan bu parametrelerin değiştirilmesi suretiyle, değiştirilen diğer parametrelerin dişli kutusu ağırlığı ve hacmi üzerindeki etkisinin incelenmesi mümkündür.

5. KAYNAKÇA

- [1] AKKURT, M., "Makina Elemanları Cilt II", Birsen Yayınevi, İstanbul (1990).
- [2] ULUKAN, L., "Dişli Çark Mekanizmaları", İTÜ Matbaası, İstanbul (1984).
- [3] THOMAS, A., K., CHARCHUT, W., "Dişli Çarklar", (M.GEDİKTAŞ), İTÜ Matb., İst.(1985).
- [4] NIEMANN, G., "Makina Elemanları Cilt III", İTÜ Matbaası, İstanbul, (1970).
- [5] DUDLEY, D. W., "Gear Handbook", McGraw-Hill Book Company, New York, (1975).
- [6] DUDLEY, D.W., "Practical Gear Design", McGraw-Hill Book Company, New York, (1994).
- [7] TUPLIN, W.A., "Gear Design", The Machinery Publishing Company, New York, (1992).
- [8] ERTEN, M., ÖZDEMİR, U., "Dişli Kutusu Projesi Hesaplama Esasları", Hava Harp Okulu Yayınları, İstanbul, (2001).
- [9] ÖZDEMİR, U., "İki Kademeli Helisel Dişli Kutusunun Autolisp Programlama ile Boyutlandırılması", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (1998).
- [10] ÇETİNKAYA, K., BAŞAK, H., "Uygulamalı Autolisp ve DCL Programlama, Seçkin Yayınevi", Ankara, (1999).
- [11] ÇIKIŞ, E., "AutoLisp", Türkmen Kitapevi, İstanbul, (1994).
- [12] BAYKAL, G., "AutoCAD 2002", Pusula Yayıncılık, İstanbul, (2002).
- [13] Autodesk, "AutoLisp Programmers Reference, Autodesk Bv.", Switzerland, (1992).
- [14] YILMAZ REDÜKTÖR, Katalog AYS 08/01.96, Yılmaz Ofset, İstanbul (1996).