

ASİMETRİK EVOLVENT DÜZ DİŞLİLERİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

*Fatih KARPAT**

*Kadir ÇAVDAR**

*Fatih C. BABALIK**

Özet: Bu çalışmada, evolvent profilli düz dişli çarkların farklı bir uygulaması olan asimetrik profilli çarkların kullanılabilirliği, sonlu elemanlar analizi yardımıyla araştırılmıştır. Yazarlar tarafından geliştirilmiş ve sunulmuş bir diş modelleme metodu model oluşturulmak için kullanılmıştır. Kullanılabilirlik analizlerinde; çarkların diş dibi gerilmesi, kavrama oranı, kütle ve diş kuvvetleri kriterleri üzerinde durulmuş ve sayısal örnekler sunulmuştur. Özel olarak oluşturulan diş modeli kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiş ve asimetrik dişlilerin uygulamada alternatif olup olamayacakları konusu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli analiz, Dişli çark, Asimetrik diş.

Computer Aided Analysis of Gears with Asymmetric Teeth

Abstract: In this study, use-ability of gears with asymmetric tooth, which is a different application of involute spur gears, is considered via finite element method. A method, which was developed and presented by authors, is used for the modeling of tooth. This paper covers the bending stress analysis of asymmetric gears, the analysis of contact ratio, mass and tooth force. The investigation is illustrated with numerical examples. It is considered whether asymmetric gears can be evaluated as an alternative for spur gear in practice.

Key Words: Computer aided analysis, Gears, Asymmetric tooth.

1. GİRİŞ

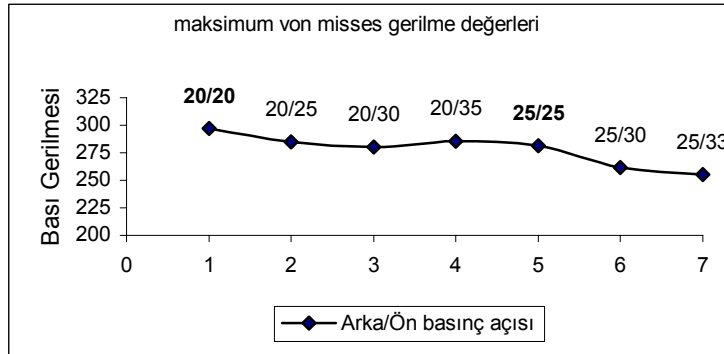
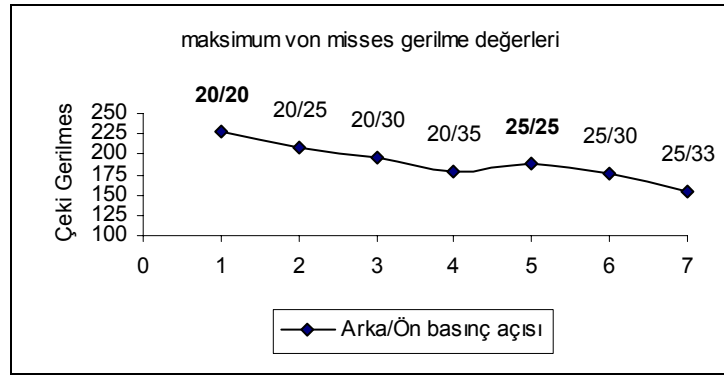
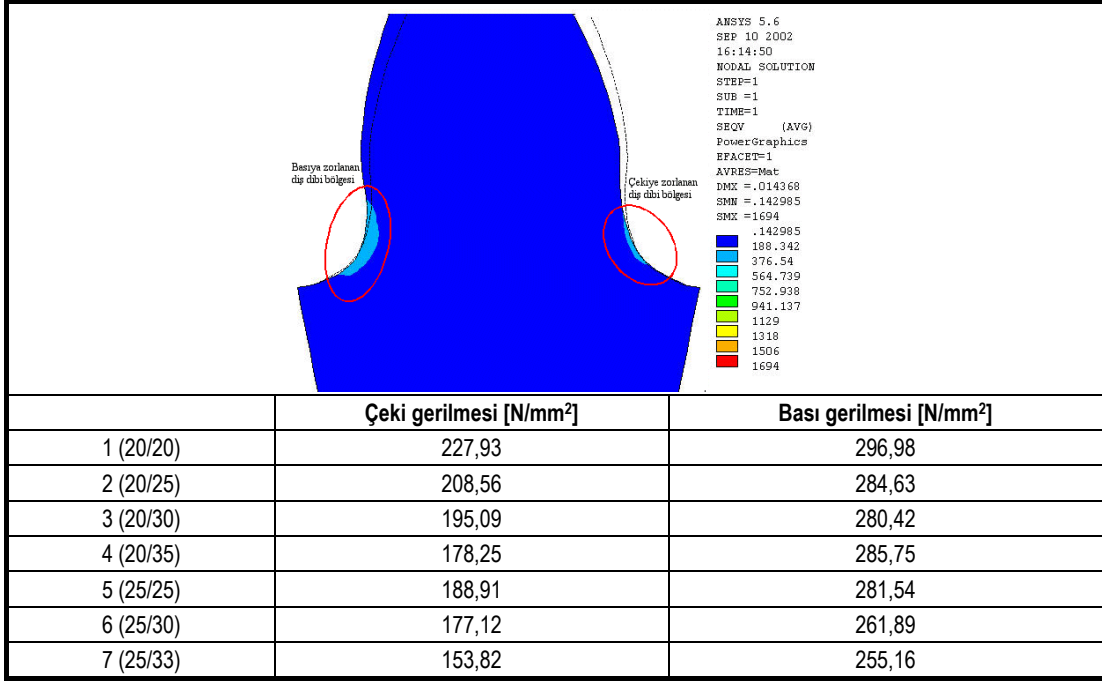
Asimetrik profilli çarklar konusunda literatürde çok fazla çalışma mevcut değildir. Bu alanda yapılan analiz çalışmalarına örnek olarak Litvin ve ark. (2000) ve Kleiss ve Kapelevich (2001) verilebilir. Litvin ve ark. (2000) çalışmalarında, 3 farklı diş modeli üzerinde yapılan sonlu elemanlar temas analizi ile benzer sonuçlara varmışlardır. $\alpha_d > \alpha_c$ olan asimetrik dişlilerin gerilme açısından hem simetrik hem de $\alpha_d < \alpha_c$ olan asimetrik dişlilere göre daha iyi sonuçlar verdiği bu yayında da sunulan verilerle desteklenmektedir.

Kleiss ve Kapelevich (2001) tarafından, plastik döküm dişlilerde standart dışı yeni profillerin kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca yazarlar, yük kapasitesini arttıran, titreşim ve gürültüyü azaltan asimetrik diş modeli için geliştirilen bilgisayar programını tanıtmaktadırlar. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen tasarımları karşılaştırmak amacıyla bilgisayar modelleri oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla diş dibinde oluşan eğilme gerilmelerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, yazarlar tarafından tasarlanan deney düzeneğinde, asimetrik profilli plastik döküm dişliler üzerinde yapılan kırılma deneyleri ile desteklenmiştir.

Kapelevich ve Kleiss (2002), çalışmalarında düz ve helisel dişlilerin tasarım ve analizi için alternatif bir yöntem sunmaktadırlar. Farklı diş profillerinin ve asimetrik dişlilerin optimum tasarlanmasında bu yöntemin daha kolay bir çözüm oluşturduğu örneklerle ifade edilmektedir.

Çavdar ve ark. (2004) yayınlarında, asimetrik profilli çarkların temel boyutları, uygulama alanları verilmiştir. Ayrıca aynı yayında çarkların bilgisayar destekli analizleri için özel olarak oluşturulan diş modeli de tanıtılmıştır. Bu yayındaki analizlerde de adı geçen diş modeli kullanılmıştır.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa.



Şekil 1:
Diş Dibinde Oluşan Maksimum Eşdeğer (von Misses) Gerilme Değerleri [N/mm²]

Yayının devamında, asimetrik profilli dişli çarkların ANSYS paket programı yardımıyla bilgisayar ortamında modellenmesi ve bu modellerin değişik şartlarda analizlerinin sonuçları üzerinde durulacaktır. Analizler, asimetrik profilli dişli çarkların simetrik profilli dişli çarklarla karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Profil açılarının (α_c , α_d) değişiminin; dişte oluşan diş dibi ve yan yüzey basınçlarına etkisi, kavrama oranına etkisi, diş rijitliğine etkisi çarkların üzerinde bulunduğu mili taşıyan yatakların ömürlerine etkisi ve çark kütlelerinin değişimi incelenmektedir.

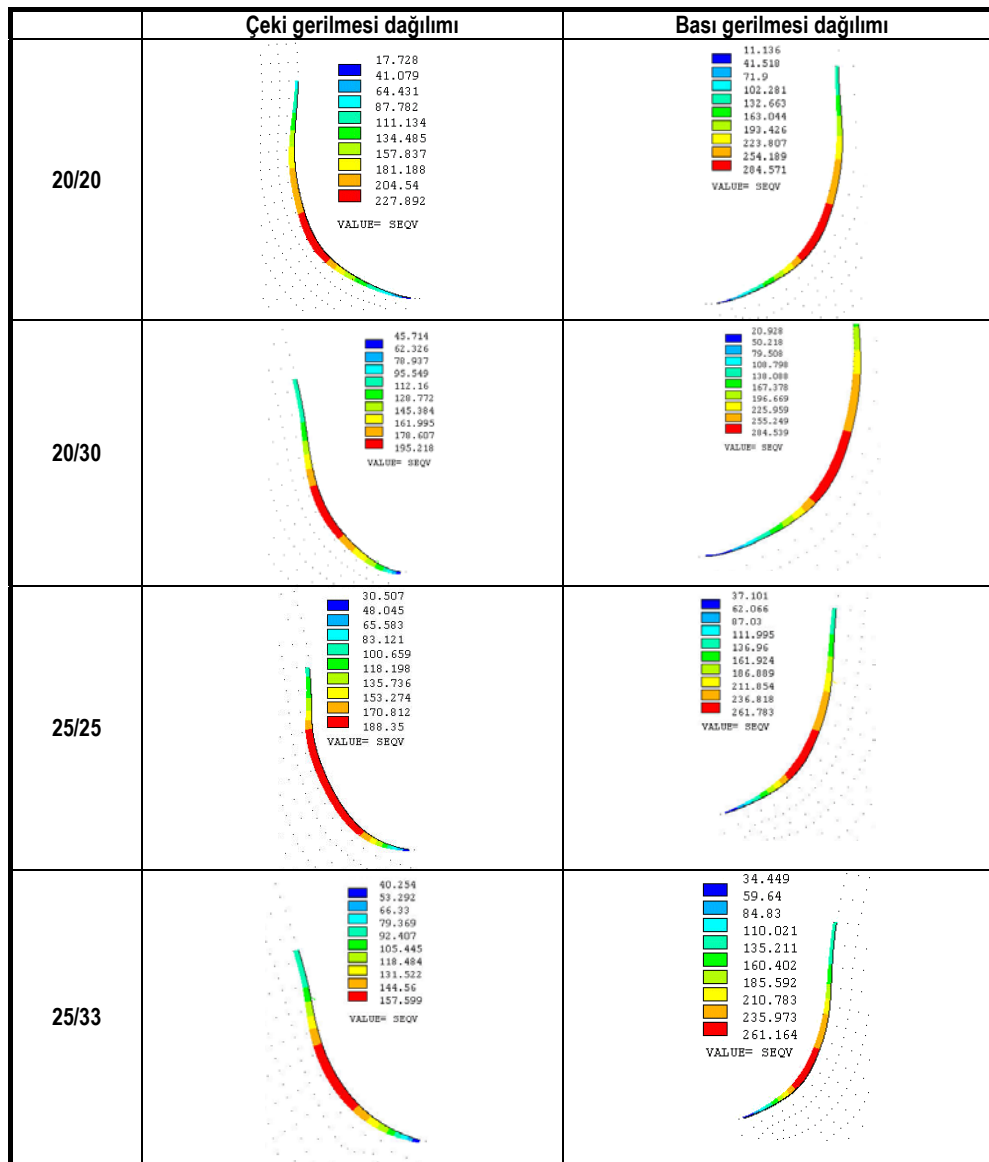
2. UYGULAMA SONUÇLARI

2.1 Profil Açıları Değişiminin Diş Dibi Gerilmesi ve Yan Yüzey Basıncına Etkileri

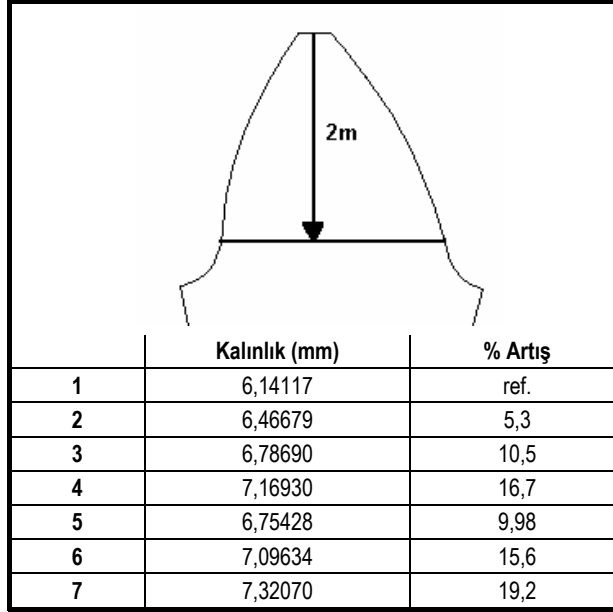
Diş dibinde oluşan eğilme gerilmesi

Şekil 1.'de diş dibindeki maksimum eğilmeden dolayı oluşan çeki ve bası gerilmesi değerleri sunulmuştur. Dişli kuvvetlerinin uygulanmasıyla diş dibindeki eşdeğer (von misses) gerilme dağılımları için hazırlanan modeller arasından seçilenler Şekil 2.'de görülmektedir.

Elde edilen bu sonuçlardan profil açılarının artmasıyla asimetrik dişlilerin yük kapasitelerinin yükseldiği görülmektedir. 20/35 asimetrik dişlisinin maksimum çeki gerilmesi 20/20 simetrik dişlisinden elde edilen maksimum çeki gerilmesinden %21, 25/25 simetrik dişlisinin gerilmesinden %6 daha düşük elde edilmiştir. Diş dibindeki kritik kesit alanının artması, gerilmedeki azalmanın temel nedenidir. Bunu da diş başından 2.m kadar aşağıdaki diş dibi kalınlıklarının değişimini incelediğimizde kolayca görebiliriz (Şekil 3.).



Şekil 2:
Farklı Profil Açısı Değerlerinde Diş Dibinde Oluşan von Misses Gerilme Dağılımları



Şekil 3:

Diş Başından 2.m Aşağıda Farklı Profil Açılarına Bağlı Olarak Diş Kalınlığının Değişimi

Maksimum gerilmenin oluştuğu konumun, profil açısının artırılmasıyla daha mukavim olan diş dibine doğru kaymış olması gerilme dağılımlarından elde edilen bir başka olumlu sonuçtur (Tablo 1.).

Tablo 1.

Maksimum Gerilmenin Oluştugu Düğüm Noktasının Koordinatları

| | x | y |
|---|-------|--------|
| 1 | 3,195 | 24,194 |
| 2 | 3,524 | 24,026 |
| 3 | 3,865 | 24,104 |
| 4 | 4,365 | 23,851 |

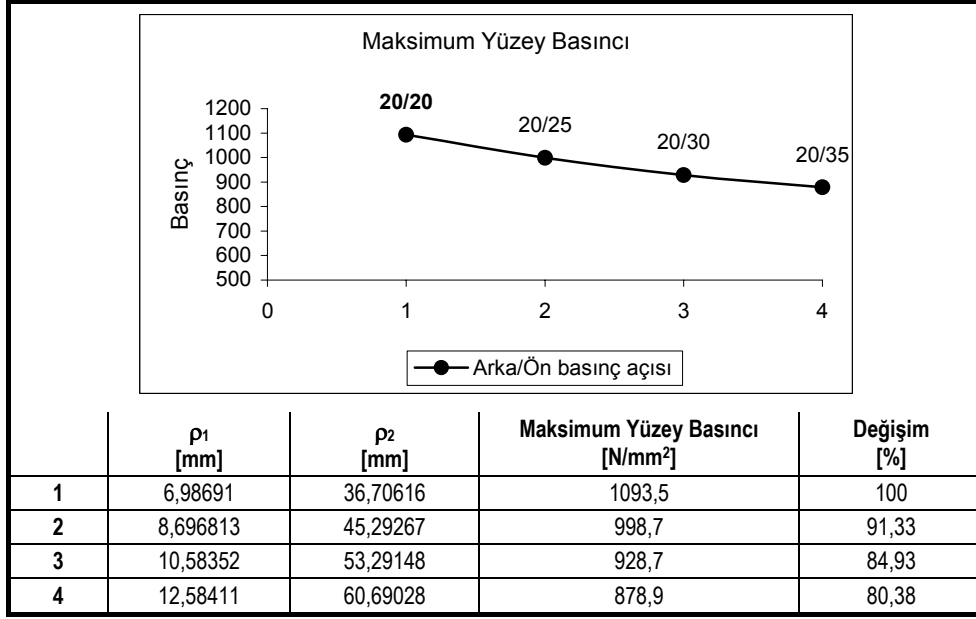
Yan yüzeyde oluşan bası gerilmeleri

Yukarıda verilmiş olan eğrilik yarıçapı ifadelerinden de görülebileceği gibi profil açısının (α_d) artmasıyla eğrilik yarıçapları ρ_1 ve ρ_2 artmaktadır. Bu da yüzeyde oluşabilecek maksimum basıncın düşmesine neden olmaktadır. Bu azalma Tablo 2'de görülebilir. 20/35 dişlisinin maksimum yüzey basıncı, 20/20 simetrik dişlinin yüzey basıncından yaklaşık %20 daha düşük elde edilmiştir.

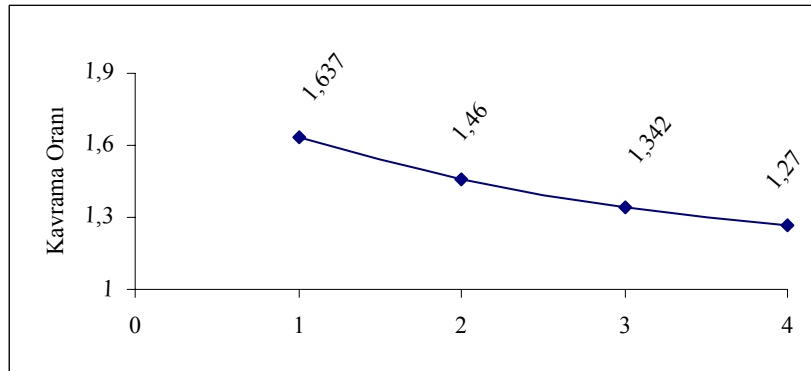
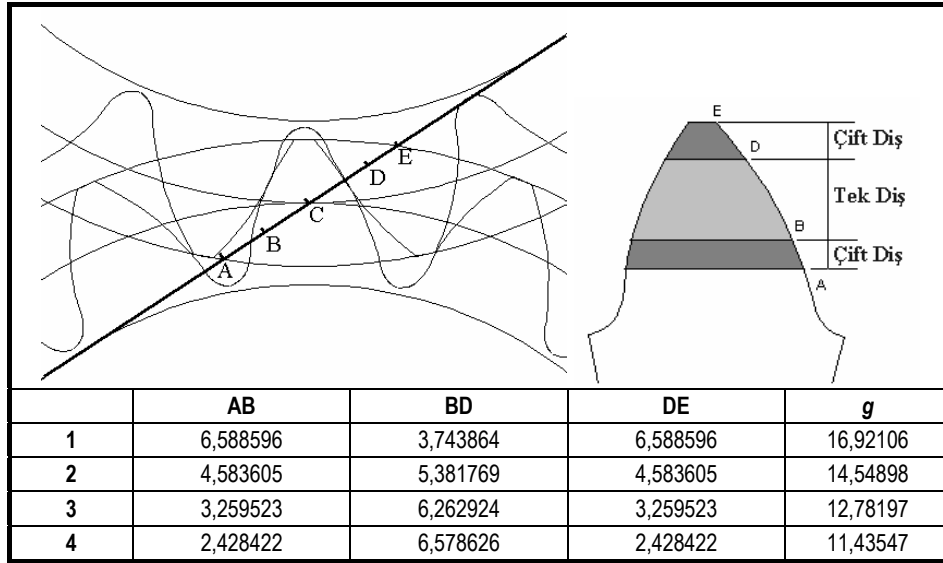
2.2 Profil Açılarının Değişiminin Kavrama Oranına Etkisi

Asimetrik dişlide ön yüzeydeki profilin açısının artmasıyla, kavrama uzunluğu kısalarak kavrama oranı düşmektedir (Tablo 3. ve Şekil 4. ve 5.). $\alpha_d = 40^\circ$ değerini çok fazla aşmadığı takdirde kavrama oranının 1,1 değerinin altına düşmediği yapılan hesaplarda görülmektedir. Kavrama oranının düşmesi, kavrama giriş ve çıkışlarında dişin elastikiyetine bağlı olarak kavrama darbelerine neden olur. Bu da dişli dinamiği açısından sakıncalı bir durumdur. Bu nedenle, yüksek kavrama oranı istenen uygulamalar için, $\alpha_d > \alpha_c$ şeklindeki asimetrik dişliler uygun değildir. Bunun yanı sıra, profil açısının artmasıyla kavrama uzunluğu kısalarak tekil diş temas bölgesi **BD** uzunluğu artmakta ve en yüksek tekil diş noktası **D** diş başına oldukça yaklaşmaktadır (Tablo 3.). Bu durum, diş başında kırılmalara neden olabilir ve diş başında özel çalışmalar (örneğin diş başı daraltması) yapılması ihtiyacını doğurur. Ayrıca BD uzunluğunun artması yük paylaşımını da değiştirmektedir. Dönme açısı ile yük oranı (*tek diş tarafından taşınan yük / taşınması istenen toplam yük*) değişimi Şekil 5.'te de görülmektedir. Örneğin 20/20 dişlisinde tekil diş bölgesi BD aralığı yaklaşık 0,2 radyan iken 20/35 dişlisinde bu değer yaklaşık 0,3 radyana ulaşmaktadır (Şekil 5.).

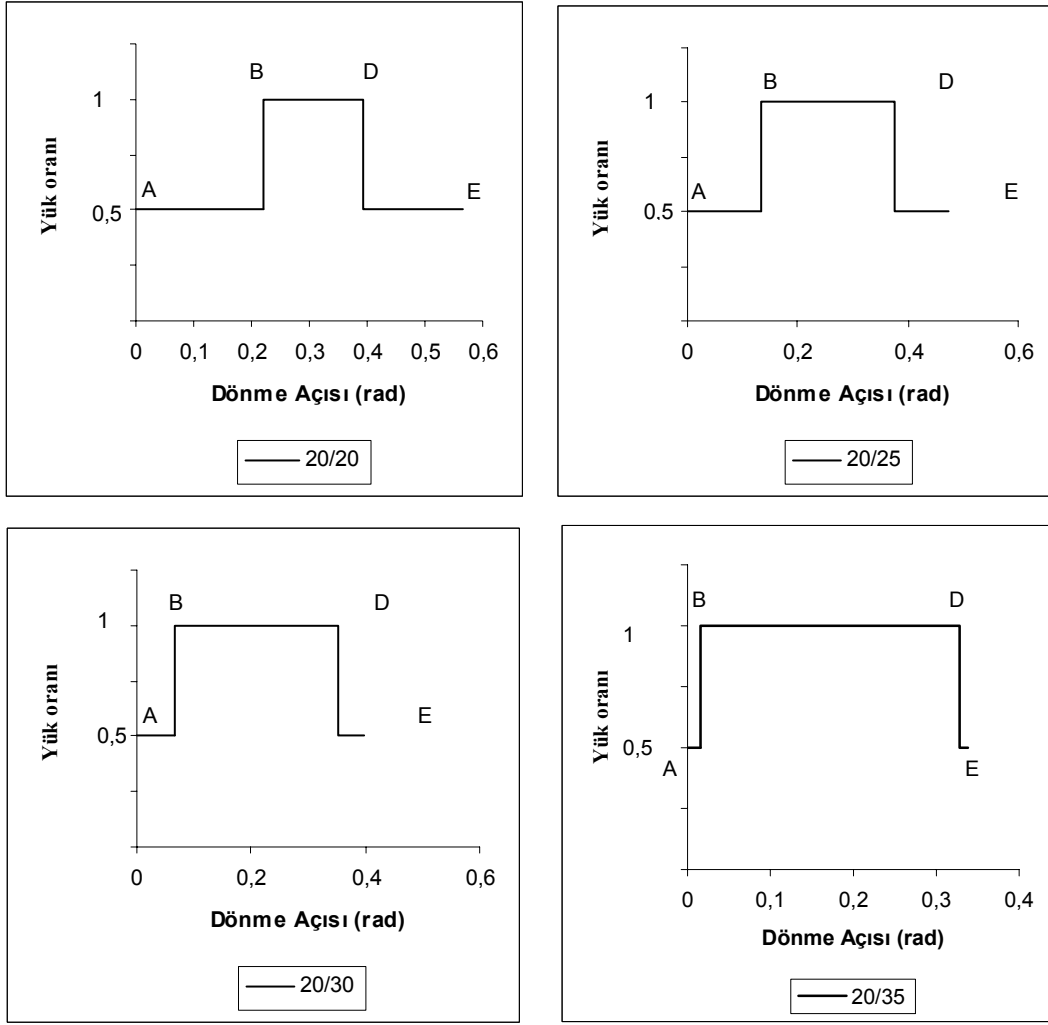
Tablo 2.
Yan Yüzeyde Oluşan Bası Gerilmelerinin Değişimi [N/mm²]



Tablo 3.
Profil Açısına Bağlı Olarak Kavrama Uzunluğunun Değişimi (değerler mm)



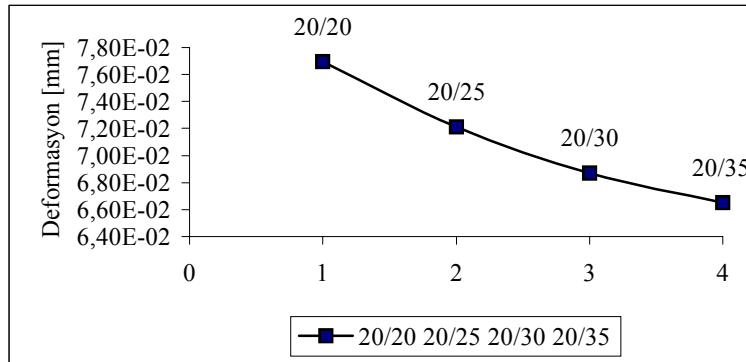
Şekil 4:
Kavrama Oranının Değişimi



Şekil 5:
Profil Açısına Bağlı Olarak Kavrama Oranının ve Yük Oranının Değişimi

2.3. Profil Açılarının Değişiminin Dış Rijitliğine Etkisi

Yapılan sonlu elemanlar analizinden elde edilen deformasyon sonuçları incelendiğinde, dış rijitliğinin profil açısının artması ile birlikte yükseldiği görülmektedir (Şekil 6.). Burada, Deformasyon sonuçları dış başından kavrama doğrusu doğrultusunda sabit kuvvet uygulanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 6:
Profil Açısına Bağlı Olarak Dış Başında Oluşan Deformasyonun Değişimi

2.4. Profil Açılarının Değişiminin Özgül Kaymaya Etkisi

Asimetrik dişlilerde temas yüzeyindeki kavrama açısının artmasıyla A ve E noktalarındaki maksimum ve minimum kayma hızı ve özgül kaymanın değişimi Şekil 7.'de verilmiştir. Buna göre, profil açısının artmasıyla maksimum kayma hızı dolayısıyla da özgül kayma hızı azalmaktadır. Özgül kayma hızının azalması diş dibinde meydana gelebilecek aşınma açısından olumlu bir etken olacaktır.

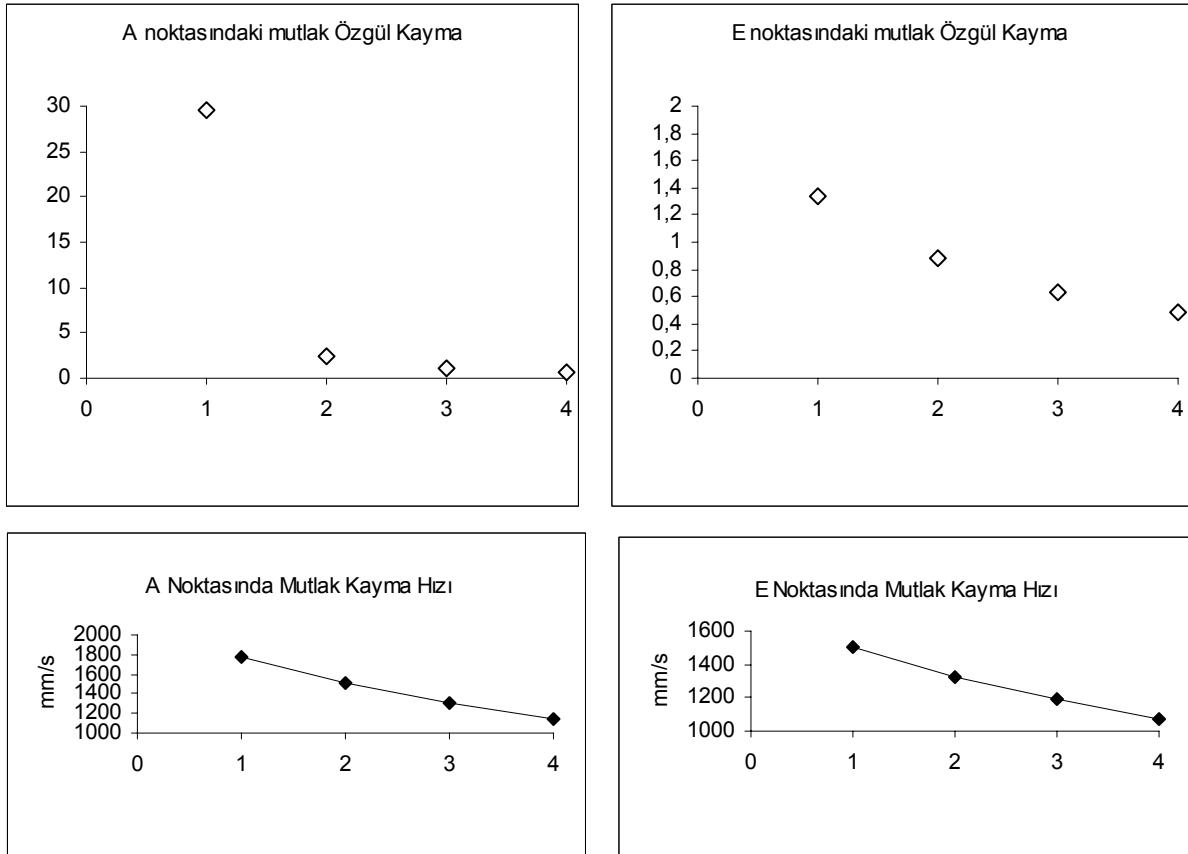
2.5. Profil Açılarının Değişiminin Yatak Ömrüne Etkisi

Literatürde bilinen bağıntılara göre, dişli kuvvetinin teğetsel ve radyal bileşenlerine dağılımı profil açısına bağlıdır. Profil açısının artışıyla dişli kuvvetinin radyal bileşeni büyür, dolayısıyla yatak ömrünü hesaplamada kullanılan değer yükselir. Dişli mekanizmalarda dişli millerinin yataklanmasında genelde rulmanlar kullanılmaktadır. Bağıntılara göre, yatak yükünün artışı ile rulman ömrü azalır. Bu ilişkiyi daha iyi görebilmek için Şekil 8'de şeması verilen örnek için sayısal bir çözüm yapılarak rulman ömrünün değişimi araştırılmıştır. (Mil ve dişli çarkın ağırlığı ihmal edilmiştir, $n = 1000$ d/dk; $C = 20$ kN)

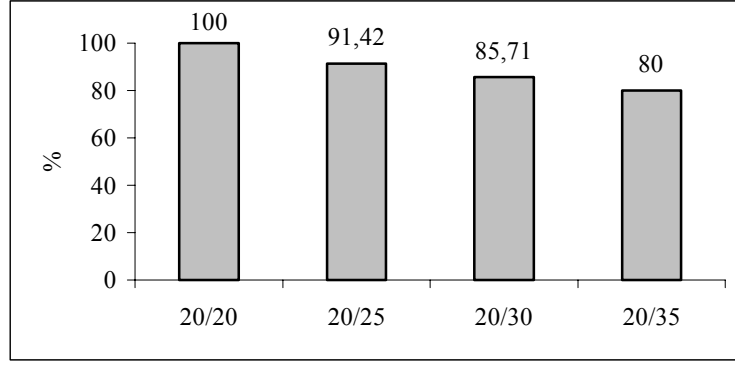
Şekil 9'dan görüldüğü gibi 20/35 (4.) durumunda kullanılan bilyalı rulmanın ömrü 20/20 (1.) hali için yapılan uygulamada kullanılan rulmanın ömrüne göre % 86 azalmıştır. Bu durumun rulman boyutu açısından olumsuz olacağı açıktır.

3.6. Profil Açılarının Değişiminin Ağırlığa Etkisi

Asimetrik dişlilerde sadece yüklü kısımdaki profil açısı arttırılırsa, ağırlıkta ihmal edilebilecek seviyede bir artış olmaktadır (Şekil 10.).



Şekil 7:
Profil Açılarının Değişiminin Kayma Hızının ve Özgül Kaymanın Değişimi



Şekil 11:

Eşdeğer Mukavemet Şartı Altında Profil Açısına Bağlı Olarak b Dişli Genişliğindeki Azalma

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yayında sunulan bu çalışmada, ön ve arka yüzeydeki profil açıları farklı olan asimetrik dişliler incelenmiştir. Geliştirilen modelle diş dibi gerilme ve deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında asimetrik dişlilerden oluşmuş mekanizmalardaki kavrama olayı ve yatak yükleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçları sıralarsak:

- Profil açısı arttıkça diş dibi gerilmesi, diş dibi kesitin artmasından dolayı azalmaktadır. Buna bağlı olarak dişin eğilme yük taşıma kapasitesi artmıştır.
- Profil açısının artmasıyla ρ_1 ve ρ_2 eğrilik yarıçapının artmasından dolayı, yan yüzey mukavemetinin arttığı nümerik çözümlerle görülmüştür. Ayrıca eğrilik yarıçaplarının artmasıyla genişleyen yüzey sayesinde ısı iletimi daha kolay olacak ve mekanizmanın çalışma sıcaklığı düşecektir.
- Profil açısının artması kavrama oranını düşürmektedir. Çünkü temas uzunluğu AE kısalmaktadır. Bunun yanında BD tekil diş bölgesinin uzunluğu artmaktadır.
- Ön yüzeydeki profil açısının artması ile dişli rijitliği yükselmektedir.
- Profil açısının artmasıyla maksimum özgül kayma değeri düşmektedir. Bu da aşınmayı azaltıcı bir etkidir.
- Profil açısı arttıkça radyal yatak yükü artmaktadır. Bu da rulmanlı yatağın ömrünü önemli bir ölçüde azaltmaktadır.
- Simetrik dişli ile eşdeğer bir mukavemete sahip dişlilerde boyut ve ağırlıkta azalma olmaktadır.

Bu sonuçların ışığında; mekanizmanın kullanılacağı yer, mekanizmadan beklenenler, asimetrik dişlilerin üretiminde gerekli özel takım maliyeti gibi kriterlerin tasarımcı tarafından değerlendirilmesiyle, asimetrik profilli çarkların standart profilli çarklara bir alternatif oluşturabileceği düşünülmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. ANSYS Workbook, Release 5.4 (1994), Ansys Inc.
2. Çavdar K., Karpat F. ve Babalık F.C. (2004) Asimetrik Evolvent Profilli Düz Dişlilerin Boyutlandırılması ve Geometrik Modellerinin Oluşturulması, *UÜMMF Dergisi*, Baskıda.
3. DiFrancesco G. and Marini S. (1997) Structural Analysis of Asymmetrical Teeth: Reduction of Size and Weight, *Gear Technology*, September/October 47-51.
4. Kapelevich, A. and Kleiss, R. (2002) Direct Gear Design for Spur and Helical Gears, *Gear Technology*, September-October.
5. Kleiss R.E., Kapelevich A.L., Kleiss N.J. Jr. (2001) New Opportunities with Molded gears, *AGMA Fall Technical Meeting*, Detroit, October 3-5.
6. Litvin F.L., Lian Q., Kapelevich A.L. (2000) Asymmetric Modified Gear Drives: Reduction of Noise, Localization of Contact, Simulation of Meshing And Stress Analysis, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 188, 363-390.