

RÜZGAR TÜRBİNİ TEST DÜZENEGİ TASARIMI

Fatih KARPAT*, **Kadir ÇAVDAR****

* karp@uludag.edu.tr, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bursa
** cavdar@uludag.edu.tr, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bursa

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin önemi son yıllarda giderek artmaktadır. Rüzgar enerjisi ile elektrik enerjisi üretme maliyetinin düşmesi ve devlet teşvikleri bu alandaki çalışmalara her geçen gün hız kazandırmaktadır. Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çeviren rüzgar türbinlerinde en önemli sorunlardan biri güvenilirliktir. Bu nedenle günümüzde türbin üreticilerinin ve araştırmacıların başlıca gereksinimlerinden biri güvenilir ve esnek test yataklarının ortaya konmasıdır. Test düzenekleri özellikle güç aktarım elemanlarının test edilmesi amacıyla kullanılırlar. Güvenilirlik açısından önemli görülen güç aktarım elemanı da dişli kutusu ve dişli çarklardır. Bu çalışmada, dişli kutusu ve içerdiği elemanların (dişli çark, rulman vb.) ömür ve dayanım performanslarını ölçebileceğimiz yeni bir test yatağının tasarımı yapılmıştır. Bu test düzeneği, kontrol sistemiyle değişken hızlarda sürülebilir elektrik motoru sayesinde gerçek rüzgâr hız verilerinin kullanılmasına göre tasarlanmıştır. Test yatağı sayesinde asimetrik diş profili gibi yüksek performanslı farklı diş profillerine sahip dişli çarkların kullanılabilirliği de araştırılacaktır. Sensörlerle donatılmış test yatağı ile verimlilik, ömür, akustik emisyon, diş aşınması gibi konularda deneyler yapılabilecektir. Özellikle yüksek performanslı dişli çarkların performanslarının analiz edilmesi, sürdürülebilir elektrik üretimine ve güvenilirliğine olumlu katkı sağlayacaktır.

Anahtar Sözcükler: Rüzgâr enerjisi, Rüzgâr türbini, Test düzeneği, Dişli kutusu, Asimetrik dişli.

ABSTRACT

Wind power is one of the most promising of renewable energy sources. In recent years, the cost of electric power generated by wind turbines has decreased markedly. Currently, system reliability is emerging as a major concern in wind energy industry. To increase the reliability of wind turbines, it is necessary to have flexible and adaptable drive train test beds. Most of the reliability issues in wind turbines are related to the drive train, and in particular to the gearbox. Recently, gears with asymmetric teeth have been proposed for use in gearboxes. Gears with asymmetric teeth are an alternative to conventional symmetric-tooth gears. It is

expected that asymmetric teeth will improve performance of gears in wind turbine gearboxes. An asymmetric tooth has different pressure angles in the drive side and coast side of the tooth. An innovative wind power test bed used for testing the applicability of asymmetric gear in wind turbine application will be presented. The control system in the test bed allows using realistic wind profiles to drive the variable-speed motor. The test bed can be used to conduct gearbox experiments with a focus on: efficiency, fatigue life, acoustic emissions, tooth wear, and bearing wear. The utilization of asymmetric gears has the potential to significantly increase system reliability and thus energy production.

Keywords: Wind Energy, Wind Turbine, Test Bed, Gearbox, Asymmetric gear.

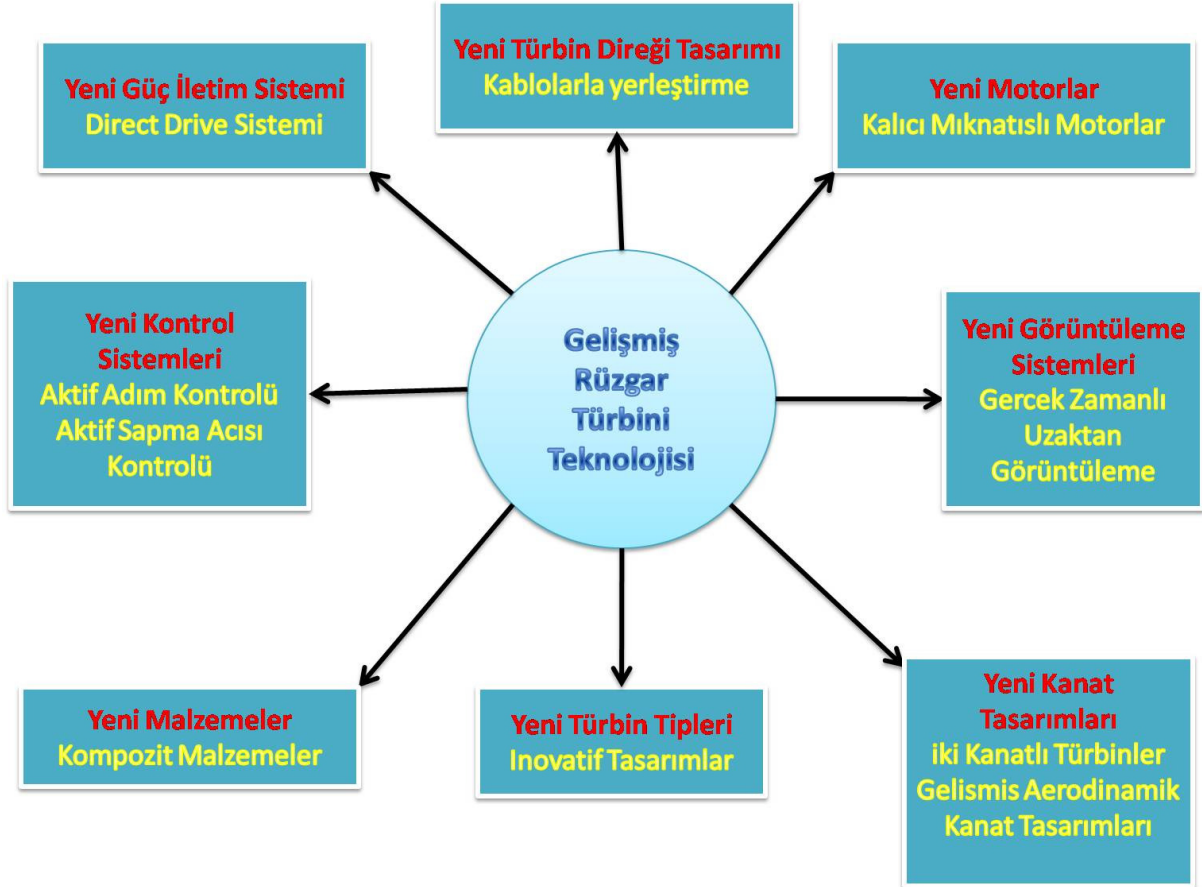
1. GİRİŞ

Son yıllarda rüzgâr enerjisi tüm dünyada hızla artan bir öneme sahiptir. Gelişmiş ülkeler rüzgâr enerjisini temiz ve sıfır karbon emisyonu sağlayan bir enerji turu olarak kabul etmelerinin yanı sıra yerel ekonomiye katkısını da fark etmişlerdir. Bu nedenle kabul edilen çevre kanunlarının zorlaması ve ekonomik kalkınmayı sağlamak için devlet teşvikleri bu alanda hızla artmaktadır. Gelişmiş devletlerin yaptığı projeksiyonlara göre önümüzdeki 20 yılda rüzgâr enerjisinin kullanımı büyük oranda artacaktır. Günümüzdeki mevcut kurulu rüzgâr enerjisi kapasiteleri incelenirse, 2009 sonunda tüm dünyada rüzgâr enerjisi kapasitesi 159000 MW'ı geçmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde toplam kurulu kapasite 35000 MW civarında olup bu haliyle diğer enerji kaynakları arasında %1,8'lik bir paya sahip olmuştur. Amerikan Enerji Kurumunun rüzgâr enerjisini kullanım 2030 hedefi ise tüm enerji kaynakları içinde %20'lik bir paya sahip olmasıdır. Bir başka deyişle rüzgâr enerjisi ile elde edilen elektrik enerjisi nükleer enerjiden elde edilen elektrik enerjisi ile aynı orana sahip olacaktır. Bu hedef Avrupa Birliği tarafından 2020 hedefi olarak belirlenmiştir. 2009 sonu itibarıyla Avrupa Birliği'nde kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi 75000 MW'a yaklaşmıştır [1,2]. Avrupa birliği ülkeleri arasında Almanya, İspanya, Fransa, İtalya ve Danimarka bu alanda en öndeki ülkelerdir. Ülkemiz ise 2009 sonunda 800 MW'lık toplam kurulu rüzgâr enerjisi kapasitesine ulaşmıştır [3,4]. Bu rakam ülkemizin 50 GW'lık rüzgâr enerjisi potansiyeli ile karşılaştırıldığında çok düşük seviyelerdedir. Ancak ülkemizin son yıllardaki rüzgâr enerjisini kullanmada gösterdiği gelişim ümit vericidir.

Rüzgar enerjisinin yaygınlaşabilmesi için başlıca anahtar konular; güvenilirliğin ve verimliliğin artırılması, ilk kurulum maliyetinin azalması, yan sanayi maliyetinin azalması ve talebe uygun üretimin sağlanmasıdır. Bu konularda konulan hedeflere ulaşabilmek, devlet teşviklerinin yanında rüzgar türbini teknolojisindeki ilerlemelere de bağlıdır. Modern türbin teknolojisi bu haliyle arzu edilen yaygınlaşmayı ve daha ucuz elektrik enerjisi üretimini sağlayacak düzeyde değildir. Bu nedenle diğer teknolojik alanlardaki gelişmelere paralel olarak inovasyona dayalı bir türbin teknolojisi gelişimine ihtiyaç vardır. Bu gelişim içerisinde yeni güç iletim sistemlerine, ileri malzemelere, yeni gelişmiş kontrol sistemlerine, yeni jeneratör türlerine ihtiyaç olacaktır (Şekil 1).

Yeni rüzgar türbinlerinde en önemli sorunlardan biri güvenilirliktir. Bu nedenle günümüzde türbin üreticilerinin ve araştırmacıların başlıca gereksinimlerinden biri güvenilir ve esnek test düzeneklerinin ortaya konmasıdır. Bu test düzenekleri yeni geliştirilen sistemlerin denenmesi

ve oluşabilecek hata ve hasarların önceden tespitine yardımcı olmaktadır. Günümüzde var olan test düzenekleri ile genellikle güç iletim sistemlerinin denenmesi yapılabilmektedir. Farklı rüzgar türbini boyutları test düzeneklerinin çeşitlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, dişli kutusu ve içerdiği elemanların (dişli çark, rulman vb.) ömür ve dayanım performanslarını ölçebileceğimiz yeni bir test yatağının tasarımı yapılmıştır. Bu test yatağı, kontrol sistemiyle değişken hızlarda sürülebilir elektrik motoru sayesinde gerçek rüzgar hız verilerinin kullanılmasına imkan verecek şekilde tasarlanmıştır. Test yatağı sayesinde asimetric diş profili gibi yüksek performanslı farklı diş profillerine sahip dişli çarkların kullanılabilirliği de araştırılacaktır. Sensörlerle donatılmış test yatağı ile verimlilik, ömür, akustik emisyon, diş aşınması gibi konularda deneyler yapılabilecektir.



Şekil 1. Gelişmiş türbin teknolojisi

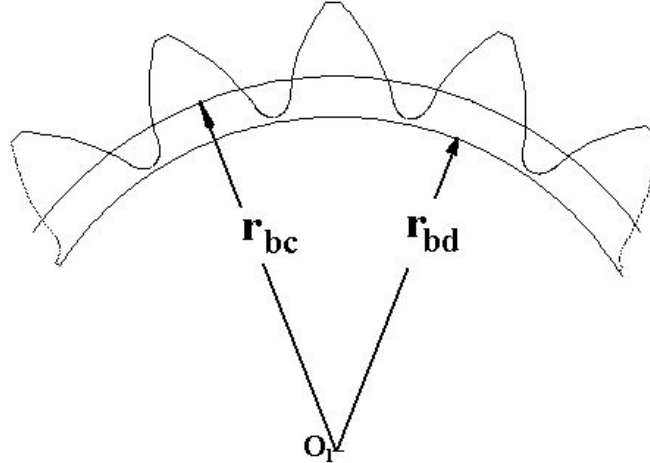
2. ASİMETRİK DİŞLİ ÇARKLAR

Rüzgar türbinlerinde dişli kutularının ve dişli çarkların performansı etkileyen en önemli elemanlardan biri olması, maliyete katkısının % 13-14 oranında olması, verimi doğrudan etkilemesi, hasar durumunda tüm rüzgar türbinin durması gibi nedenlerdendir [4]. Günümüzde türbin tasarımlarında ağırlığın azaltılması, bakım ve ilk maliyetin azaltılması gibi nedenlerden endüstride dişli kutusu olmadan güç iletim sistemlerine (direct drive) doğru bir eğilim vardır. Yine de bu yeni sistemlerin güvenilirliğinin henüz yeterli düzeyde olmaması sebebiyle orta ve

büyük ölçekli türbinlerde dişli kutularına rastlanmaktadır. Bu nedenle dişli çarkların performansını arttırmak amacıyla yapılan araştırmalar halen değerini korumaktadır.

Son yıllarda artan büyük güç ve yüksek hız taleplerine karşılık verebilmek için geliştirilen standart olmayan asimetrik dişliler ilgi görmektedir. Özellikle tek yönlü yüklemelerin ağırlıklı olduğu sistemlerde bu dişli çarkların üstünlüğü yapılan teorik ve deneysel çalışmalarla ortaya konmuştur [5-23]. Son dönemlerde yapılan yayınlarda asimetrik profilli dişlilerin rüzgar türbinleri için kullanılabilirliği araştırılmaktadır [5,13,17].

Asimetrik dişli geometrisinin simetrik olan standart dişlilere göre en önemli farkı, dişin her iki yüzeyindeki (ön-temasın olduğu-yüzey ve arka yüzey) farklı iki evolvent profil için aynı merkeze sahip iki farklı temel daire bulunmasıdır (Şekil 2). Bu özellik, asimetrik dişli çarkları kullanan tasarımcıya standart dişli çarklar ile karşılaştırıldığında önemli bir esneklik sunmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde asimetrik dişe sahip dişli çarklarda yük kapasitesinde artış ve boyutta, ağırlıkta, titreşim seviyesinde, aşınma miktarında, yüzey basıncındaki azalma veya dinamik yükte azalma yapılan kavrama açısı konfigürasyonları ile elde edilmiştir.

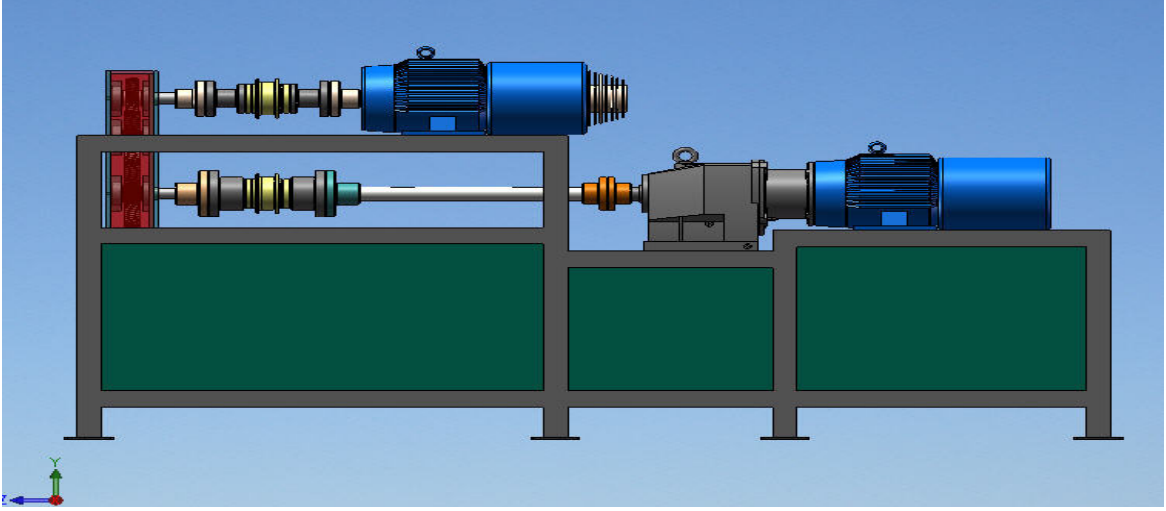


Şekil 2. Asimetrik profilli dişe sahip dişli çarka ait eş merkezli iki temel daire

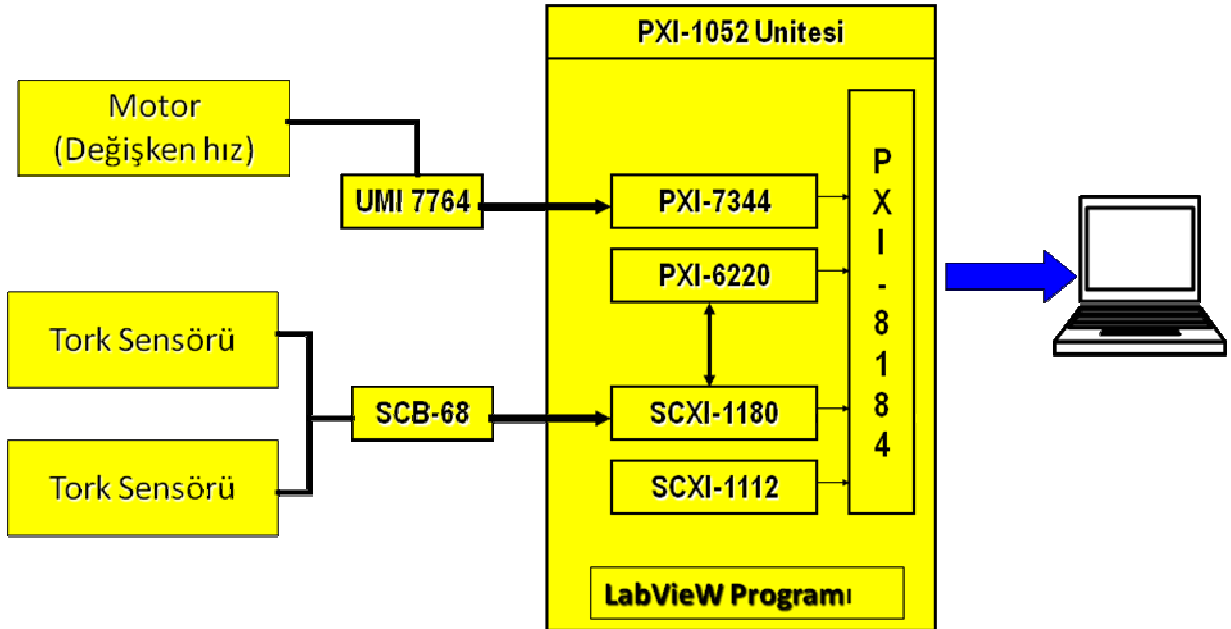
3. TEST DÜZENEGİ

Rüzgar enerjisini elektrik enerjisine çeviren rüzgar türbinlerinde asimetrik dişe sahip dişli çarkların kullanılabilirliğini gösterebilmek için teorik çalışmalarda elde edilen üstünlüklerin özel olarak tasarlanıp üretilmiş ve sensörlerle donatılmış yeni bir deney düzeneği kullanarak deneysel doğrulanması yapılacaktır. Bu yeni test düzeneği üzerindeki sensörler ve veri işleme kartları sayesinde asimetrik dişe sahip dişli çarklar dinamik yük, yorulma, titreşim, akustik emisyon ve diş aşınması ile ilgili veriler toplanabilecektir. Bu verilerin dişin her iki yüzeyindeki kavrama açısının ve diş yüksekliğinin değişimiyle nasıl değiştiği incelenerek teorik olarak literatürde elde edilmiş sonuçlar doğrulanmaya çalışılacaktır. Uygun motor sayesinde alınan farklı rüzgar hızı verileriyle dişli kutusunun tahrik edilmesi sağlanacaktır. Bu deneylerde kullanılacak farklı asimetrik diş modelleri tasarlanmıştır.

Bu çalışma Texas Tech Üniversitesi ve Uludağ Üniversitesi İşbirliği ile yürütülmektedir. Tasarlanan test düzeneği 6 farklı kısımdan oluşmaktadır (Şekil 3). Bu üniteler ara yüz, kontrol ve veri işleme sistemi (Şekil 4), motor, dişli kutusu, güç elektronik ünitesi ve sensörlerden oluşmaktadır. Sensörlerle donatılmış test düzeneği ile dinamik yük, yorulma, titreşim, akustik emisyon, diş aşınması gibi konularda deneyler yapılacaktır. Bu test düzeneğinde denenecek asimetrik dişe sahip dişli çarkların tasarımı daha önceden geliştirilmiş bilgisayar programları yardımıyla gerçekleştirilecektir. Tasarımın ardından dişli çarkların imalatı dışarıdan hizmet alımı şeklinde yapılacaktır. Elde edilen ilk sonuçlar literatürdeki teorik ve pratik sonuçlarla karşılaştırılarak, test düzeneğinin doğrulanması gerçekleştirilecektir. Sonuçların daha önceden geliştirilmiş sonlu elemanlar metoduna dayanan bilgisayar programıyla elde edilen sonuçlarla uyumu incelenecektir.



Şekil 3. Tasarlanan rüzgar türbini test Düzeneğinin 3 Boyutlu Modeli



Şekil 4. Test düzeneği veri işleme sistem şeması

4. SONUÇ

Bu yayında, günümüzün en önemli araştırma konularından rüzgar enerjisinin önemi vurgulanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin daha verimli ve daha güvenilir olabilmesi için test düzeneklerinin gerekliliği tartışılıp, bu test düzeneklerinden bir tanesinin tasarımı sunulmuştur. Tasarım üzerinde çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmada tasarlanan test düzeneği tamamlandıktan sonra elde edilen ilk veriler gelecek yayınlarda sunulacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki katkılarından dolayı Texas Tech Üniversitesi'nden Prof. Dr. Stephen Ekwaro-Osire`ye teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

[1] BLANCO, M. I., RODRIGUES, G., Direct Employment in The Wind Energy Sector: An EU study, **Energy Policy**, 37, pp. 2847–2857, (2009).

[2] AWEA, American Wind Energy Association, Wind Power Outlook, (2010).

[3] SAIDUR, R., ISLAM, M. R., RAHIM, N. A., SOLANGI, K. H., A Review on Global Wind Energy policy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14, pp.1744-1762, (2010).

[4] BLANCO, M. I., The Economics of Wind Energy, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13, pp.1372-1382, (2009).

[5] EKWARO-OSIRE, S. and KARPAT, F., Examining Gear Design for Increased Reliability, **North American Windpower**, Vol. 7, No. 4, pp. 94&96, (May 2010).

[6] YOERKIE, A., and CHORY, A. G., Acoustic Vibration Characteristics of High Contact Ratio Planetary Gears, **The Journal of American Helicopter Society**, 40, 19-32, (1984).

[7] KAPELEVICH, A. L., Geometry and Design of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth, **Mechanism and Machine Theory**, 35, 117-130, (2000).

[8] LITVIN, F. L., LIAN, Q., KAPELEVICH, A.L., 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, (2000).

[9] DENG, G., TSUTOMU, N., Enhancement of Bending load Carrying Capacity of Gears Using An Asymmetric Involute Tooth, **The JSME International Conference on Motion and Transmissions(MPT2001-Fukuoka)**, Fukuoka, Japan, pp.513-517, (2001).

[10] KLEISS R. E., KAPELEVICH A. L., KLEISS Jr. N. J., New Opportunities with Molded gears, **AGMA Fall Technical Meeting**, Detroit, October 3-5, (2001).

- [11] KARPAT, F., Asimetrik Profile Sahip Evolvent Dişli Çarkların Analizi, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2005).
- [12] KARPAT, F., ÇAVDAR, K., BABALIK, F. C., Computer Aided Analysis of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth, **VDI-EKV International Conference On Gears**, VDI Berichte Nr. 1904, pp. 145-163, Munich, (2005).
- [13] BRECHER, C., SCHAFER, J., Potentials of asymmetric tooth geometries for the optimisation of involute cylindrical gears, **VDI-EKV International Conference On Gears**, 1904 I, pp. 705-720, (2005).
- [14] KARPAT, F., EKWARO-OSIRE, S., Wear of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth under Dynamic Loading, **ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition**, Chicago, Illinois, USA, Nov 5–10, (2006).
- [15] MUNI, D. V. , KUMAR, V. S., MUTHUVEERAPPAN, G., Optimization of asymmetric spur gear drives for maximum bending strength using direct gear design method, **Mechanics Based Design of Structures and Machines**, 35 , pp. 127-145, (2007).
- [16] SPITAS, V., SPITAS, C., Optimizing involute gear design for maximum bending strength and equivalent pitting resistance, **Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science**, 221 C4, 479-488, (2007).
- [17] KARPAT F., EKWARO-OSIRE S., CHAPMAN J., SWIFT A., Wind Power Test Bed, the **WINDPOWER 2007 Conference and Exhibition**, Los Angeles, USA, June 3-6, (2007).
- [18] KARPAT, F., EKWARO-OSIRE, S., Wear of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth under Dynamic Loading, **ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition**, Chicago, Illinois, USA, Nov 5–10, (2006).
- [19] KARPAT, F., EKWARO-OSIRE, S., Influence of Tip Relief Modification on the Wear of Spur Gears with Asymmetric Teeth, **Tribology Transactions**, Volume 51, Issue 5 , pages 581–588, (September 2008).
- [20] KARPAT, F., EKWARO-OSIRE, S., KHANDAKER M. P. H., Probabilistic Analysis of MEMS Asymmetric Gear Tooth, **Journal of Mechanical Design**, Volume 130, Issue 4, (April 2008).
- [21] KARPAT, F., EKWARO-OSIRE, S., CAVDAR, K., BABALIK, F. C., Dynamic Analysis of Involute Spur Gears with Asymmetric Teeth, **International Journal of Mechanical Sciences**, 50 (12) 1598-1610, (Dec 2008).
- [22] KARPAT F. and EKWARO-OSIRE S., Dynamic Analysis of High-Contact-Ratio Spur Gears with Asymmetric Teeth, **Proceedings of the 2008 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition**, Boston, Massachusetts, (Oct 31–Nov 6, 2008).

[23] KARPAT, F., CAVDAR, K., BABALIK, F.C., Influence Of Some Gear Design Parameters On Asymmetric Gear Tooth Strength, **The 3th International Conference Power Transmissions'09**, Kallithea, Greece, (1-2 October 2009).