

MERMER KESME TESTERELERİNDE OLUŞAN KESME KUVVETİNİN BULANIK MANTIK (BM) YÖNTEMİYLE MODELLENMESİ

Bekir YALÇIN, İsmail UCUN* ve Murat KORU

Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çünür Kampüsü, 32200, Isparta

*Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü, Afyonkarahisar

bekir@tef.sdu.edu.tr

(Geliş/Received: 10.03.2006; Kabul/Accepted:27.09.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, mermer endüstrisinde kesme amaçlı kullanılan dairesel testerelede oluşan kesme kuvveti bulanık mantık metoduyla modellenmiştir. Kesme esnasında testere üzerine değişik kuvvetler etki etmekte olup, kuvvetler etkisinde testere zorlanmakta ve istenilmeyen hasarlar oluşmaktadır. Bu kuvvetlerin izlenmesi-kontrolü tezgâh ve testere ömrü açısından önemli olmakla birlikte, kesilen yüzeyin kalitesini de etkilemektedir. Kesme işlemi sırasında kesme kuvvetlerinin kontrolü, ancak uzman ve elektronik sistemlerle sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, oluşturulan bulanık mantık denetleyicide, kesme kuvvetini etkileyen özgül talaş kaldırma oranı, ilerleme ve kesme derinliği giriş parametresi, kesme kuvveti ise çıkış parametresi olarak belirlenmiştir. Her bir giriş-çıkış parametresi için uygun üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiler, bulanık mantık denetleyici ile verilerden elde edilen bilgiye göre oluşturulmuştur. Oluşturulan bulanık mantık denetleyicisiyle giriş değerine göre sitemde oluşan kesme kuvveti değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bulanık mantık denetleyici ile kesme kuvvetinin tahminlerinin doğru olarak yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Dairesel elmas testere, bulanık mantık, kesme kuvveti.

FUZZY LOGIC MODELLING OF THE CUTTING FORCE OF CIRCULAR DIAMOND SAW IN MARBLE CUTTING

ABSTRACT

In this study, cutting force of circular diamond saw in marble cutting industry was modeled using fuzzy logic method. Different cutting forces are effective during cutting processes and saw is damaged by these forces. Monitoring and controlling of the forces is important for cutting machine and circular diamond saw life and its influence the work-piece quality. Monitoring of cutting forces during cutting process can be provided with an expert and electronic system. According to literature experimental studies in fuzzy model, the specific removal rate, depth of cut and feed rate were assigned as input values and cutting force was designed as out value. Most convenient membership functions and support range were selected for each input-output parameter. Relations between memberships functions were established according to expert knowledge obtained from the literature experimental results. Cutting force values were predicted according to input values in the fuzzy model. Fuzzy model was verified by predict value which was compared with the literature experimental value. As a result, output values obtained from fuzzy system were compatible with experimental results and it was exposed that cutting forces were estimated without marble cutting tests.

Keywords: Circular diamond saw, fuzzy logic, cutting force.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde bilgisayar sistemlerindeki gelişmeler, endüstride rekabet ve kaliteyi arttırmakla birlikte mekanik sistemlerin bilgisayarla kontrolünü zorunlu hale getirmiştir. Bu teknolojik gelişmelerin imalat sektöründeki dönüşümleri, bilgisayar destekli imalat (Computer Aided Manufacturing-CAM), esnek üretim (Flexible Manufacturing-FM), bilgisayar destekli mühendislik (Computer Aided Engineering-CAE) ve bu sistemlerin kombinasyonu bilgisayar bütünlük üretim (Computer Integrated Manufacture- CIM) sistemlerini ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmelerle, karmaşık ileri imalat sistemlerinde (Robotik Sistemler, Akıllı İmalat Sistemleri vb.) üretim sistemlerinin kontrolü ve modellenmesi buna bağlı olarak simülasyonu, sistemlerin işlem kontrolü, izlenmesi ve ürün analizi önem kazanmıştır. Karmaşık ve doğrusal olmayan sistemlerin kontrolü veya modellenmesi, klasik matematiksel denklemlerle zor ve zaman alıcı, bazen de sonuç vermeyen nitelikte olabilmektedir. Bu tür sistemlerin güvenilir olarak modellenmesi-kontrolü için bazı bilgisayar programları ve yöntemleri geliştirilmiştir [1]. Bunlardan en yaygın kullanılanları bulanık mantık, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar gibi yapay zekâ uygulamalarıdır. Bu yöntemler özellikle doğrusal olmayan sistemlerin uzun matematiksel işlemler ve algoritmalara ihtiyaç duymadan kontrolünü sağlar. Bulanık mantık, bunlar içerisinde özellikle tahmin, kontrol, veri analizi ve sınıflandırma için oldukça uygun bir yöntemdir [2, 3]. Bulanık model tam ve kesin olmayan bilgiler kullanılarak tutarlı ve doğru karar vermeyi sağlayan, bir düşünme ve karar verme mekanizmasıdır [4, 5]. Diğer bir ifade ile kesin olmayan değerleri dilsel değişkenler şeklinde ifade edebilen ve tam doğruluk yerine yaklaşık karar vermeyi sağlayan bir yaklaşımdır [6].

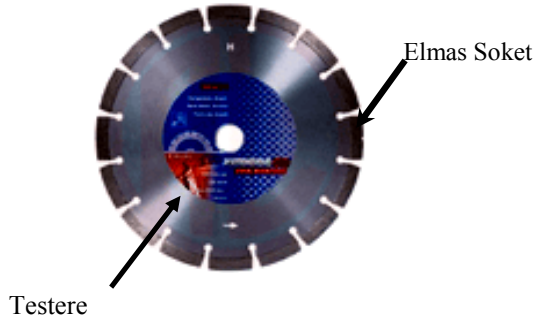
Değişik alanlarda bulanık mantık modelleme ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Wang ve diğerleri [7] metal kesme işlemlerinde veri seçimi için uzman tezgâh operatörünün bilgilerine dayanarak ilerleme verilerini optimize ederek genelleştirilmiş bir uzman model kurmuşlardır. Kurulan modelde elde edilen sonuçları, Machining Data Handbook'ta tavsiye edilen değerlerle kıyaslamışlar ve sonuçların uyumlu olduğunu belirlemişlerdir. Ghungchoo ve Saini [8] ise, CNC tornalama işlemlerinde takım aşınmasının eş zamanlı tahmini için bulanık-sinir ağı modeli kurmuşlardır. Kurulan model ile deneysel verilerden elde edilen sonuçların çok yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Yalçın ve diğerleri [9], demir esası toz metal yatakların aşınmasını karakterize eden bir bulanık mantık model oluşturmuşlardır. Bu modelden elde edilen aşınma tahmin verilerini deneysel aşınma ölçümleri ile kıyaslamışlardır. Liang ve arkadaşları endüstriyel torna ve freze işleme operasyonlarında kesme hızı gücünü, bulanık mantık yöntemiyle kontrol etmişlerdir [10].

Bu çalışmada, mermer endüstrisinde kesme amaçlı kullanılan dairesel elmas testerelerde meydana gelen kesme kuvveti bulanık mantık metoduyla modellenmiştir. Kesme esnasında testere üzerine değişik kuvvetler etki ederek testere zorlanmakta ve istenilmeyen hasarlar oluşmaktadır. Bu kuvvetlerin izlenmesi-kontrolü tezgâh ve testere ömrü açısından önemli olmakla birlikte, kesilen yüzeylerin kalitesini de etkilemektedir. Bu çalışmada, oluşturulan bulanık mantık denetleyicide kesme kuvvetini ve kesme enerjisini etkileyen özgül talaş kaldırma oranı, ilerleme hızı ve talaş derinliği giriş parametresi, kesme kuvveti ise çıkış parametresi olarak belirlenmiştir. Bu modelde, her bir giriş çıkış parametresi için uygun üyelik fonksiyonları belirlenmiştir. Üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiler, bulanık mantık denetleyicisiyle verilerden elde edilen bilgiye göre oluşturulmuştur. Oluşturulan modelde, giriş değerlerine göre sistemde oluşan kesme kuvveti tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen bulanık mantık denetleyicisiyle kesme kuvveti tahminlerinin doğru olarak yapılabileceğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak oluşturulan modelden elde edilen değerler, literatürdeki deneysel çalışmalarla uyumlu olduğundan deney yapılmadan kesme kuvveti tahmini ve kontrolünün yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

2. TESTERENİN PERFORMANS ÖZELLİKLERİ (PERFORMANCE PROPERTIES OF SAW)

2.1. Testerenin Genel Özellikleri (General Properties of Saw)

Kesici testereler günümüzde kesme işleminde en çok kullanılan kesme elemanlarıdır. Bu testereler 200–3500 mm arasında değişen çaplarda, 1000–5000 d/dk hızlarda kesme yapan değişik boyutlarda imal edilmektedir. Çap arttıkça testerenin kalınlığı da artmaktadır. Mermer kesici testeresinin geometrik yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Testere çevresindeki profil üzerine belli sayılarda elmas soketler bağlanarak, mermer kesme makinelerine takılmaktadır. Testereyi düzgün bir şekilde bağlamak, kesilen mermer parçasının boyutsal hassasiyeti ve testere ömrü açısından çok önemlidir. Ayrıca, testerede meydana gelebilecek olan salınımları azaltmak için testere çapına bağlı olarak çeşitli flanşlar kullanılmaktadır. Flanş çapının artması salınımı düşürdüğü gibi, testerenin kesme derinliğini de azaltmaktadır. Bu sebeple, optimum flanş çapı seçilmelidir. Testere üzerine kaynaklanan elmas soketler, kesme işlemini sağlayan elemanlar olup, toz metalürjisi yöntemiyle kompozit olarak imal edilmektedir. Testerenin gövdesi ise, soketlerin kesmesi için hareket kabiliyeti veren ve kesme kuvvetlerine karşı dayanımlı özel alaşımlı çeliklerden imal edilmektedirler [11].

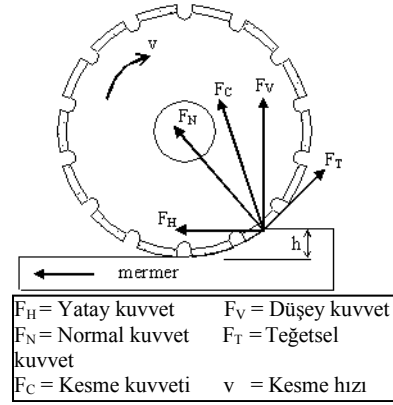


Şekil 1. Mermer kesme testeresi (Marble cutting diamond saw)

2.2. Testerenin Kinematik Davranışları (Kinematics Behaviors of Diamond Saw)

Mermer kesme testereleri, kesme sırasında statik ve dinamik olmak üzere çeşitli zorlanmalara maruz kalmaktadır [12, 13]. Bu zorlanmalar etkisinde testere üzerinde önemli kuvvetler oluşmaktadır ve kuvvetler genellikle deneysel yöntem ile ölçülmektedir. Bir blok kesme işleminde, mermer makinesinin tablasının üst kısmına 3 farklı loadceller yerleştirilir. Bu loadceller x, y ve z olmak üzere üç boyutlu kuvvetleri ölçer. Loadcell'e bağlı olan bu tablanın üzerine mermer bloğu yerleştirilir ve kesme gerçekleştirilir. Mermer üzerine değişken kuvvetler etki eder ve bu kuvvetlerin maksimum değerleri sistem tarafından kaydedilir. Mermer bloklarının homojen bir yapıya sahip olmaması ve her bölgede değişik özellikler göstermesi kuvvetleri önemli ölçüde etkilemektedir. Kesilen mermerin özelliği yanında kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme hızı ve soğutma suyunun etkisi önemli kesme parametreleridir.

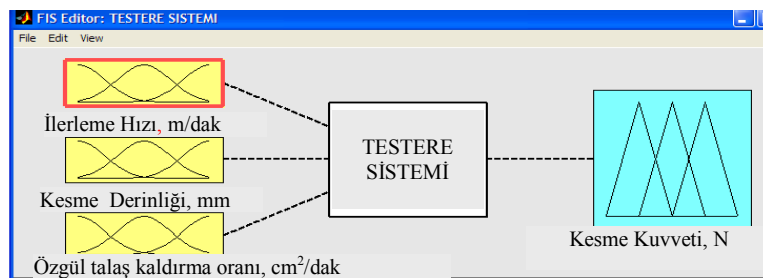
Testere, kesme işlemi yaparken oluşan kesme kuvvetlerinin etkisiyle sürtünme ve aşınmaya maruz kalır. Kuvvetlerin oluşturduğu aşınma sonucu, testerede ani bir hasar veya elmas soket üzerinde kırılma meydana gelir. Testere üzerinde oluşan kesme kuvvetlerinin kontrolü, çoğu durumda operatör tarafından kontrol edilememektedir. Kesme makinesine adapta edilen uzman kontrol sistemiyle, tezgâhta oluşan kesme kuvvetleri kontrol edilebilmesi testere



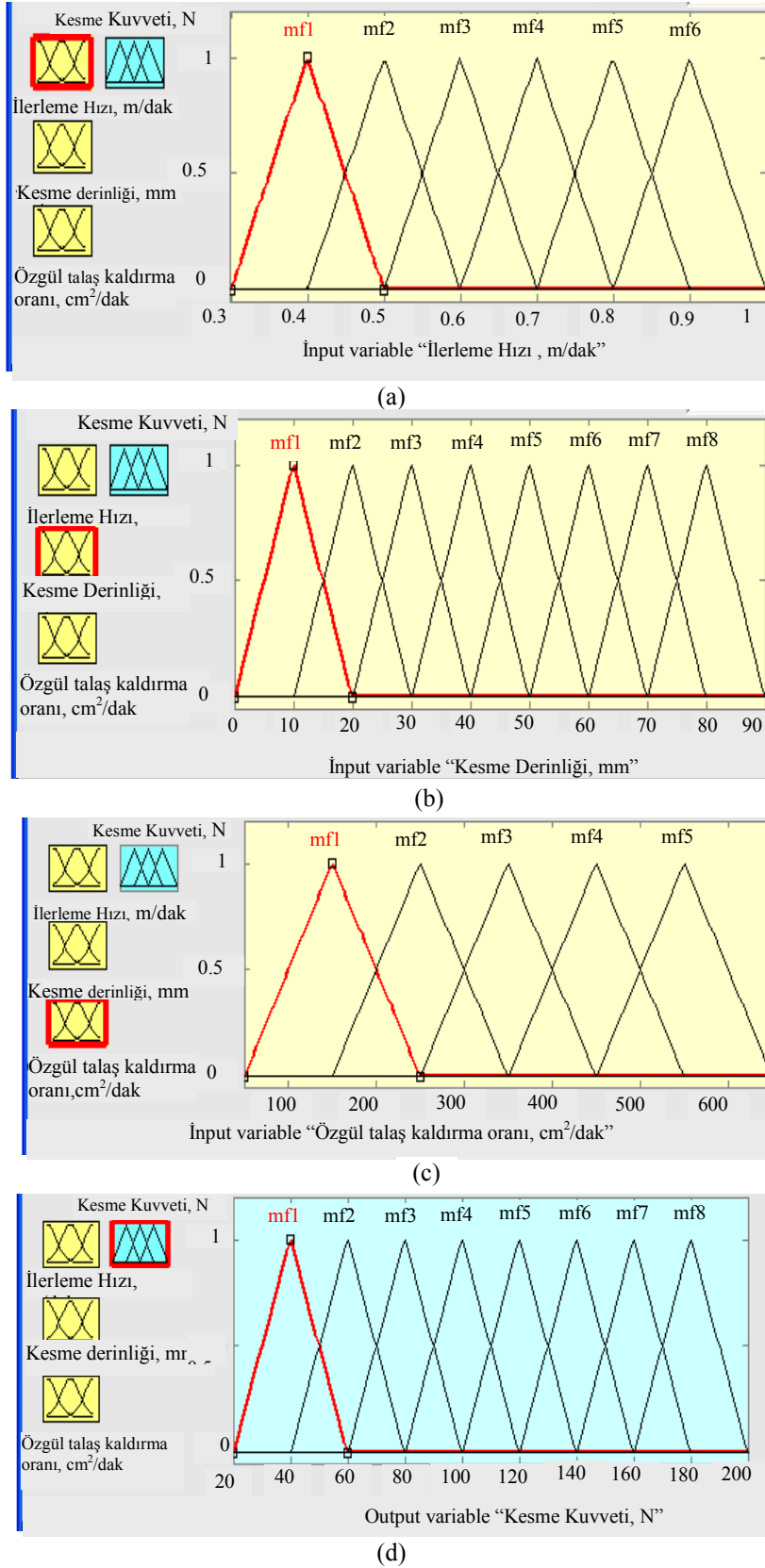
Şekil 2. Mermer kesme testeresinin kinematik davranışları (Kinematics behavior of marble cutting diamond saw) üzerinde oluşabilecek ani hasarları ortadan kaldırılabılır. Şekil 2'de bir mermer kesme testeresi üzerine gelen kuvvetler gösterilmiştir.

3. SİSTEM İÇİN KURULAN BULANIK MODEL (FUZZY LOGIC MODEL FOR SYSTEM)

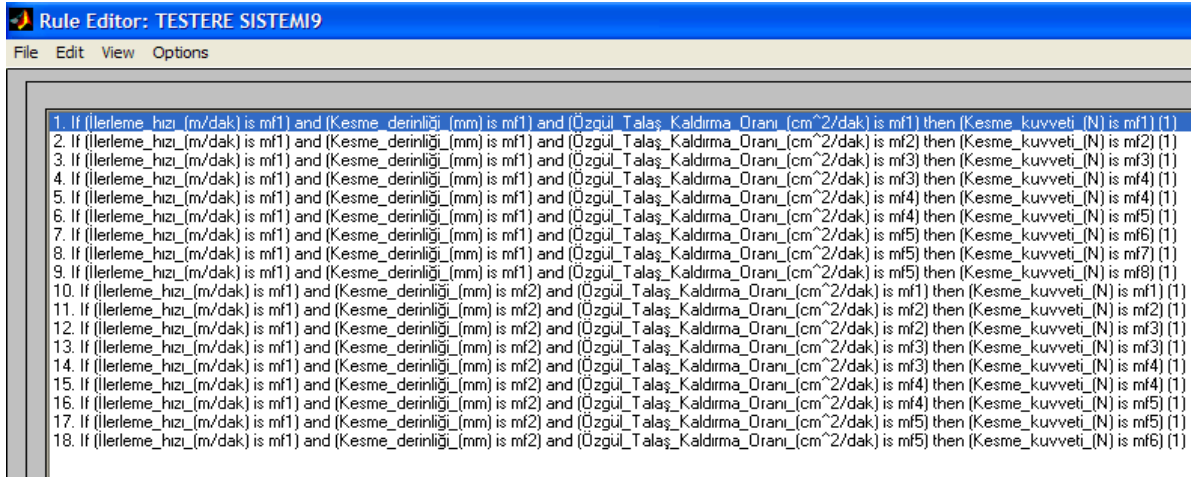
Testere üzerinde oluşan ve testere ömrünü belirleyen kesme kuvvetleri, ilerleme hızı, kesme derinliği, özgül talaş kaldırma oranı, soğutma sistemi ve kesilen mermerin cinsine göre değişim göstermektedir. Testerede oluşan kesme kuvvetinin kontrol edilmesi için oluşturulan bulanık mantık denetleyicisinde, tek tip mermerin kesilmesi düşünülerek, kesme kuvvetinin oluşumunda etkili olan ve operatör tarafından seçimi zor olan ilerleme hızı, kesme derinliği ve özgül talaş kaldırma oranı parametreleri sisteme giriş, oluşan kesme kuvveti çıkış olarak atanmıştır. Kesme kuvvetini etkileyen giriş parametreleri, üyelik fonksiyonları, alt küme aralıkları ve birbiri arasındaki ilişkiler literatürden elde edilen bilgilere dayanarak kurulmuştur [11, 14]. Üyelik fonksiyonları ile alt küme aralıkları arasındaki ilişki ve kontrol değişkeni arasındaki ilişkiler ile deneysel verilere göre kural tabanı (Rule base) oluşturulmuş ve toplam 400 kural yazılmıştır. Tüm bu işlemler Matlab 6.5 programında gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan model, üyelik fonksiyonları ve alt küme aralıkları Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Mermer kesme testeresinde oluşan kesme kuvvetinin kontrolü için oluşturulan bulanık mantık denetleyicisi (Fuzzy logic model for estimation of the cutting force)



Şekil 4. Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları a) İlerleme hızı üyelik fonksiyonu ve alt küme aralıkları, b) Kesme derinliği üyelik fonksiyonu ve alt küme aralıkları c) Özgül talaş kaldırma oranı ve alt küme aralıkları d) Çıkış üyelik fonksiyonu (Out-input membership functions)



Şekil 5. Oluşturulan bulanık mantık denetleyicisi kural tabanı (Rule base)

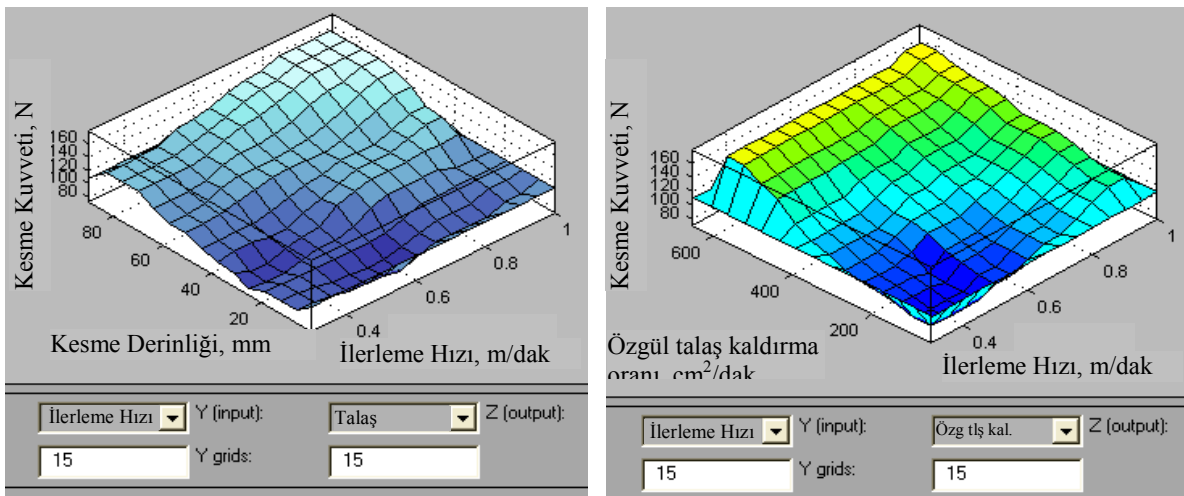
Oluşturulan modelde, alt küme aralıkları, deneysel verilerden elde edilen uzman bilgiye göre modellenmiştir. İlerleme giriş parametresi altı küme aralığında, talaş derinliği sekiz küme aralığında ve özgül talaş kaldırma oranı beş küme aralığında incelenmiştir. Çıkış-kontrol parametresi ise, bulanık mantık denetleyicisine daha hassas tahmin ettirmek için on iki küme aralığında sınıflandırılmıştır. Üyelik fonksiyonları ve her bir üyelik fonksiyonunun küme aralıkları arasındaki ilişkiler ne kadar doğru kurulursa, çıkış parametresi o kadar doğru kontrol edilebilmektedir. Üyelik fonksiyonlarının çıkarılması ve küme aralıkları, deneysel verilere göre sezgi, kümeleme ve çıkarım esasına dayanarak belirlenir. Oluşturulan bulanık mantık denetleyicisinde, kural tabanı tam ve kesin olarak elde edilmiş sonuçlardan oluşturulmuştur. Şekil 5’de görüldüğü gibi kural tabanı, her bir üyelik fonksiyonu/durum değişkeni ve küme aralıkları için ayrı ayrı kural yazılmıştır. Kurallar sözel olarak ifade edilse de, temelde her bir

kural bir sayısal sonucu vermektedir.

Bulanık modelde, herhangi bir kesme operasyonu için tahmin edilen kesme kuvveti değeri, yazılan kuralların doğruluğuna bağlıdır. Yazılan kurallar tamamen deneysel şartlardan elde edilen değerlerden elde edilir.

4. BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ SONUÇLARI (CONCLUSIONS OF FUZZY LOGIC SYSTEM)

Mermer kesme testeresinde oluşan kesme kuvvetinin kontrolü için oluşturulan bulanık mantık denetleyicisinden herhangi iki giriş parametresi ile kesme kuvveti arasındaki ilişki yüzeysel grafikler halinde elde edilebilmektedir. Ayrıca, bulanık sistemden herhangi bir kesme koşulunda oluşan kesme kuvveti sayısal değer olarak tahmin ettirilmiştir. Sistemden elde edilen ve Şekil 6’da görülen yüzey grafiklerinden, kesme kuvvetini

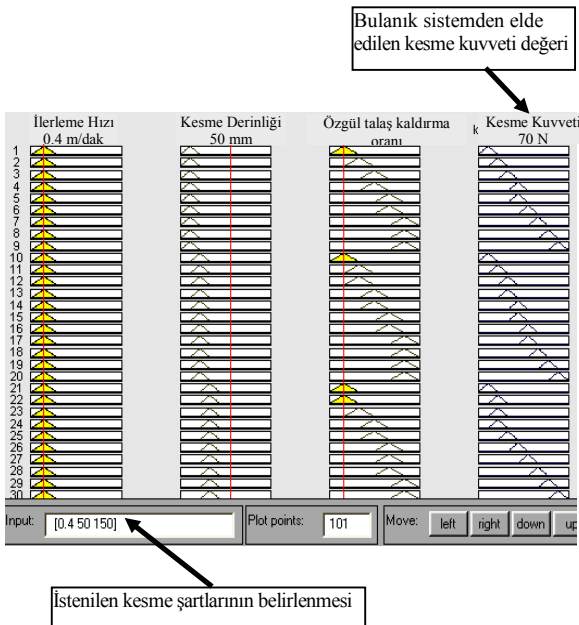


Şekil 6. a) İlerleme hızı-kesme derinliği ilişkisinin kesme kuvvetine etkisi, b) İlerleme hızı- özgül talaş kaldırma oranının kesme kuvvetine etkisi (a) The effect of feed rate and depth of cut on cutting force, b) The effect of cutting speed and specific removal rate on cutting force)

etkileyen giriş parametrelerinin optimizasyonu sağlanabilmektedir.

Şekil 6-a'da görüldüğü gibi, ilerleme hızı ve kesme derinliği arttıkça kesme kuvveti artmakta ve 40 mm kesme derinliği, 0.6 m/dak ilerleme hızı kritik değer olarak gözlemlenmektedir. Kesme kuvveti, bu değerlerden sonra ani ve doğrusal olarak artmaktadır. Kesme kuvvetini, kesme derinliği ilerleme oranına göre daha fazla etkilediği üç boyutlu grafikte görülmektedir. Şekil 6-b'de ise, ilerleme hızı ile özgül talaş kaldırma oranının kesme kuvvetine etkisi üç boyutlu yüzeysel grafik olarak verilmiştir. Bu grafiğe göre, özgül talaş kaldırma oranı daha etkileyici bir parametre olarak yorumlanabilir. Yaklaşık 400 cm²/dak özgül talaş kaldırma oranı kritik değer olarak gözlemlenmekte ve ilerleme hızı ise doğrusal olarak etki göstermektedir. Özgül talaş kaldırma oranı 500–600 cm²/dak mertebesinde ise, kesme kuvveti değerini ilerleme miktarı çok fazla etkilenmemekte ve kesme kuvvetinin maksimum değerlerde olduğu görülmektedir.

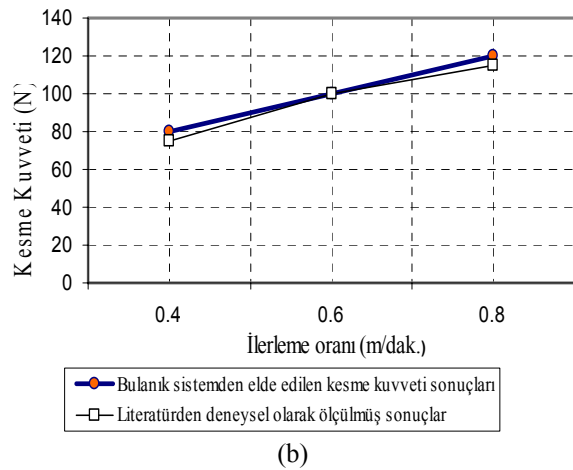
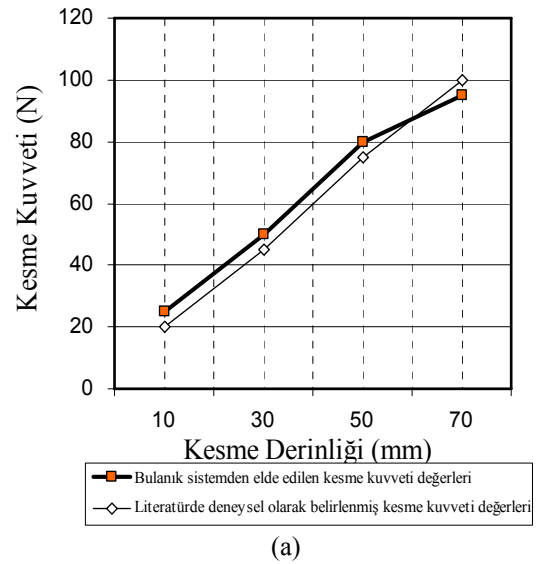
Bulanık mantık sistemden, üç boyutlu grafik elde edilebildiği gibi, deneysel olarak tespit edilmemiş herhangi bir kesme operasyonundaki kesme kuvveti değeri sayısal olarak sağlanabilmektedir. Örnek olarak, kesme derinliği 50 mm, ilerleme hızı 0.4 m/dak değerlerinde kesme kuvveti deneysel olarak 70 N ölçülmüştür. Aynı şartlarda bulanık modelden elde edilen değer özgül talaş kaldırma oranının etkisiyle 77 N olarak tahmin edilmiştir. 7 N'luk sapma ise özgül talaş kaldırma oranının etkisiyle oluşmuştur. Kurulan bulanık mantık denetleyicisinin kesme kuvvetini doğruya yakın tahmin ettiğini göstermiştir. Bu durum Şekil 7'de gösterilmiştir.



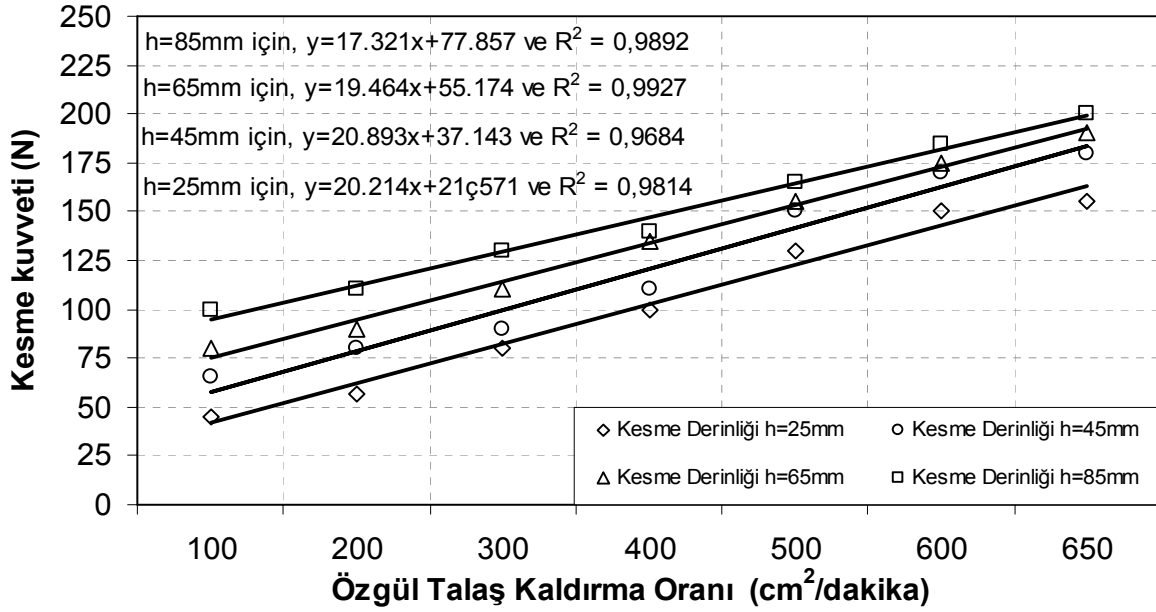
Şekil 7. Bulanık modelden elde edilen kesme kuvveti değeri (Cutting force values obtained from fuzzy model)

Şekil 7'de görülen input sayısal değerler değiştirilerek, istenilen kesme koşullarında oluşan kesme kuvveti tahmin edilip, kurulan modelin doğruluğu deneysel verilerle kıyaslanarak test edilebilir. Literatürden elde edilen deneysel veriler ile [14] bulanık sistemden elde edilen kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması Şekil 8'de, deneysel veri olmayan kesme operasyonunda, testerede meydana gelen kesme kuvveti tahminleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 8-a'da, deneysel ve bulanık modelden elde edilen kesme derinliği ve kesme kuvveti ilişkisi karşılaştırılmıştır. Bu şekilde, kesme derinliğinin kesme kuvvetine etkisi bulanık sistemde doğruya oldukça yakın bir şekilde tahmin edildiği görülmektedir. İlerleme hızının kesme kuvvetine etkisi ise, Şekil 8-b'de görülmektedir. Bu kısımda,



Şekil 8. a) Deneysel ve bulanık sistemden elde edilen kesme derinliği-kesme kuvvetinin karşılaştırılması, b) ilerleme hızı-kesme kuvvetinin karşılaştırılması (a) Comparison of cutting depth and cutting force obtained from the measurement of experimental study and fuzzy estimation, b) Comparison of cutting speed and cutting force obtained from the measurement of experimental study and fuzzy estimation)



Şekil 9. Herhangi bir mermer kesme operasyonunda, oluşturulan bulanık denetleyici tarafından testerede oluşan kesme kuvvetlerinin tahmini (Estimation of the cutting force in marble cutting operation)

yapılan tahminlerin yine deneysel ölçülen kesme kuvveti değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Her iki grafikteki genel eğilim, deneysel veriler ile benzeşmiştir.

Bulanık sistemin önemi hiç deney yapılmamış koşullarda sonuç çıkarmadır. Şekil 9'da ise, literatürde deneysel olarak belirlenmemiş bir kesme operasyonunda oluşan kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Bu kesme operasyonu için yaylak mermeri kullanılmış, kesme derinliği 10-90 mm, özgül talaş kaldırma oranı 100-650 cm²/dak arasında ve ilerleme hızı 0.3-1 m/dak mertebesindedir. Bulanık denetleyici tahminlerinin korelasyon katsayıları hesaplanmış R ve R² değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Tahmin verilerine göre, kesme derinliği ve özgül talaş kaldırma oranı arttıkça kesme kuvveti değerleri artmaktadır. Bu ise, literatürdeki sonuçlarla ve kesme mekanığı ile oldukça uyumludur. Burada elde edilen sonuçlarla, yaylak mermerinin 10-90 mm kesme derinlikleri, 100-650 cm²/dak mertebesindeki özgül talaş kaldırma oranı ve 0.3-1 m/dak arasındaki ilerleme hızları için mermerin kesilmesi sırasında oluşacak kesme kuvvetleri ve testerenin ne kadar zorlanacağı önceden belirlenmiş olur. Bu tür veri sınıflaması tezgâh operatörünün kesme parametre seçimine, kolaylık sağlayarak tezgâh sistemine operatör müdahalesini en aza indirecektir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Mermer kesme testerelerinde optimum kesme şartlarının belirlenmesi, kesme sırasında sistemin uzman denetleyicilerle kontrol edilmesine bağlıdır.

Sistemin kontrol edilmesi, kesme kuvvetinin denetlenmesi ile sağlanabilir. Kesme kuvveti değerleri loadcell kullanımı ile deneysel olarak belirlenir. Deneysel olarak belirlenen şartlara göre oluşturulan bulanık mantık denetleyici ile tahmin edilen kesme kuvveti değeri, loadcell kullanılarak belirlenen kesme kuvveti değerine çok yakındır. Oluşturulan bulanık mantık denetleyicinde kesme kuvveti değeri eş zamanlı (on-line) olarak izlenebilmektedir. Eş zamanlı izlenen ve kontrol edilen kesme kuvveti, mermer kesme cihazına ve kesme testeresine zarar vermeden kesme parametreleri optimize edilebilir. Bu sayede, bilgisayar kontrollü mermer kesme makinelerinde, bulanık sistemle kesme kuvvetinin kontrolü-ölçülmesi kesme işlemine ara vermeden gerçekleştirilir. Sonuç olarak, bulanık mantık denetleyicisinden elde edilen kontrol-tahmin sonuçlarına göre yaylak mermerinin kesilmesi sırasında oluşan kesme kuvvetini, özgül talaş kaldırma oranı ve kesme derinliği önemli oranda etkilemekte olup, ilerleme hızı ise diğer parametrelere nazaran daha az etkili olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Babuska, R., Fuzzy Modeling for Control, **Kluwer Academic Publishers**, 257s, Boston, 1998.
2. Şen, Z., Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve Modelleme İlkeleri, **Bilge Sanat Yayın Yapımcılık**, 172s, Yayın No:8509-23-3, İstanbul, 2001.

3. Passino, K.M., Yurkovich, S., Fuzzy Control, **Addison Wesley Longman**, Inc., 468 p , California, 1998.
4. Allahverdi, N., Uzman Sistemler-Bir Yapay Zeka Uygulaması, **Atlas Yayın Dağıtım**, 248 s, İstanbul, 2002.
5. Klir, G.J., Yuan, B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, **Prentice Hall PTR**, 574 p, Upper Saddle River, 1995.
6. D'Errico, G.E., "Fuzzy Control Systems with Application to Machining Process", **Journal of Materials Procs. Tech.**, 109, pp. 38-43, 2001.
7. Wang, S.V., at all, "Generalized Fuzzy Model For Metal Cutting Data Selection", **Journal of Materials Processing Technology**, 50-99, pp. 310-317, 1999.
8. Chunghoo, C., Saini, D., "On-Line Tool Wear Estimation in CNC Turning Operation Using Fuzzy Neural Network Model", **International Journal of Machine Tools&Manufacture**, 42, pp.29-40, 2002.
9. Yalçın, B., Varol, R., Yılmaz, N., "Fe Esaslı Toz Metal (T/M) Yatakların Aşınma Özelliklerinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi", **Teknolojik Araştırmalar: MTED**, 4, 1-8, 2004.
10. Liang, M., at all, "Fuzzy Control of Spindle Torque for Industrial CNC Machining", **International Journal of Machine Tool&Manufacture**, 43, pp. 1497-1508, 2003.
11. Ucun İ., Mermer Kesme Testerelerinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme ve Titreşim Analizi, A. Kocatepe Üniversitesi, **Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
12. Taşgetiren S., Ucun İ., "Mermer Kesme Testeresinin Sonlu Elemanlar Metodu İle Doğal Frekansların Belirlenmesi", **Teknolojik Araştırmalar:MTED**, C 1- S: 4, 9-17, 2004.
13. Sung C., "Brazed Diamond Grid: A Revolutionary Design For Diamond Saws", **Diamond and Related Materials**, Vol. 8, pp.1540-1543, 1999.
14. Ersoy A., Atıcı U., "Performance Characteristics of Circular Diamond Saws in Cutting Different Types of Rocks", **Diamond and Related Materials**, Vol.13, pp.22-37, 2004.