

## ÜZERİNDE DELİK BULUNAN KESİCİ DİSKİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE GERİLME ANALİZİ

İsmail UCUN<sup>a</sup>, Kubilay ASLANTAŞ<sup>a</sup>, İ.Sedat BÜYÜKSAĞIŞ<sup>b</sup> ve Süleyman TAŞGETİREN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>b</sup> Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, Afyonkarahisar, Türkiye

### ÖZET

Bu çalışmada, doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici diskin gerilme analizi sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Analizlerde, kesici disk üzerinde bulunan delikler dikkate alınmıştır. Çünkü mermer kesme sırasında, bu delikler etrafında gerilme yığılmaları meydana gelmektedir. Bu gerilme yığılmaları ise zamanla delik çevresinde çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Hasar kriteri olarak Von-Misses gerilmeleri esas alınmış ve analizlerde ANSYS 9.0 paket programı kullanılmıştır. Analizlerde, farklı delik çapları, delik mesafeleri ve çevresel hızlar dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, artan çevresel hızın delik etrafındaki gerilme yoğunluğunun da artmasına neden olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, artan delik çapı da azda olsa delik çevresindeki gerilmelerin büyümesine neden olmaktadır

**Anahtar kelimeler:** Hasar tahmini, Gerilme analizi, Mermer kesme diski, Sonlu elemanlar metodu.

## STRESS ANALYSIS OF SAWING DISC HAVING HOLE By USING FINITE ELEMENT METHOD

### ABSTRACT

In this study, stress analysis of sawing disc used natural stone industry is investigated by using finite element method. In the analysis, holes on the sawing disc are considered. During the cutting processes, stresses distributions occur at the holes around. Equivalent stresses (Von Misses) are considered as a stress criterion and ANSYS 9.0 program are used during the analyses. The crack begins with the stress distributions at the hole around. Various holes diameters, length of holes and cutting speeds are considered in the analysis. It shows from the analysis results that the stresses at the hole increases with increasing of the sawing velocity. Therefore, the stresses in the around of the hole increases with increasing hole diameter.

**Keywords:** Failure prediction, Stress analysis, Marble sawing disc, Finite element method.

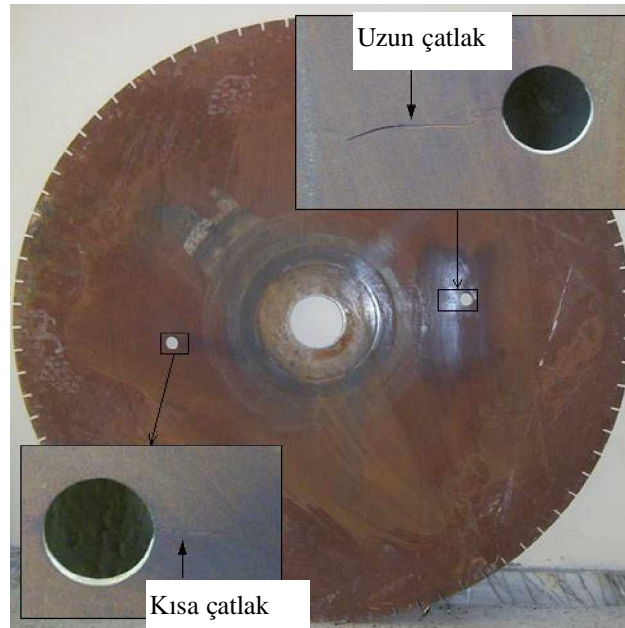
### 1. GİRİŞ

Doğal taş endüstrisinde kesici disk ve elmas soketler kesme amaçlı olarak genişçe kullanılmaktadır. Kesme esnasında kesici disk üzerine değişik kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetler etkisinde disk zorlanmakta ve istenilmeyen hasarlar meydana gelebilmektedir. Kesici disklerde genel olarak kırılma ve çatlak gibi hasarlar görülmektedir. Kırılma, testere

dişin de olabildiği gibi elmas soket veya lehim bölgesinde de olabilmektedir. Kesme kuvvetlerinin bilinmesi testere üzerindeki hasarların tespit edilmesinde önemli rol oynamaktadır [1-6].

Ucun vd.[7] doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici bir diskin üzerine oksijen gaz yöntemi ile lehimlenmiş elmas soketin hasar analizini incelemiştir. Çalışmada, lehimleme esnasında kullanılan boraks malzemesinin lehim ara yüzeyinde kalması bu bölgede çentik etkisi oluşturduğu ve kesme kuvvetlerinin etkisi ile kırıldığı tespit edilmiştir. Tönshoff vd. [8] yaptıkları çalışmada, S/T tezgahın da kullanılan 900 mm çaplı testerenin taş kesme işleminde spesifik enerji ve kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri Kistler dinamometresi ile ölçülmüş ve kesme hızı, ilerleme ve çevresel hız gibi kesme parametreleri kullanılmıştır. Talaş derinliği ve kesme hızının artması ile normal ve teğetsel kuvvetlerin arttığı görülmüştür. Ersoy ve Atıcı [9] çalışmalarında, farklı kesme parametreleri, elmas soketler ve değişik kayalar kullanarak dairesel testere üzerine etkili olan kesme kuvvetlerini ve spesifik enerjiyi elde etmişlerdir. Kesme kuvvetleri talaş derinliği ve ilerlemeye bağlı olarak artmasına rağmen, çevresel hızın artması ile teğetsel kuvvetlerin düştüğü görülmüştür. Ayrıca, kesme kuvvetleri ve spesifik enerjinin belirlenmesinde kaya türlerinin mukavemeti, sertliği ve aşındırıcılığı önemli bir faktör olarak görülmüştür. Daha sert ve mukavemetli kayaların spesifik enerjileri yumuşak ve daha az mukavemetli kayalara göre düşük olduğu görülmüştür[10, 11].

Bu çalışmada, doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici diskin gerilme analizi sonlu elemanlar metodu ile incelenmiştir. Analizlerde, Şekil 1 de gösterilen hasarlı dairesel bir disk göz önüne alınmış, farklı delik çapları, delik mesafeleri ve kesme hızları değişken olarak kabul edilmiştir. Dış dibinde olduğu gibi, delik çevrelerinde maksimum gerilmeler meydana gelmekte ve bu gerilmeler çeki şeklinde olup çatlak oluşumunu başlattığı düşünülmektedir. Bu nedenle farklı kesme şartları için delik çevresindeki gerilmelerin bilinmesi önem arz etmektedir.

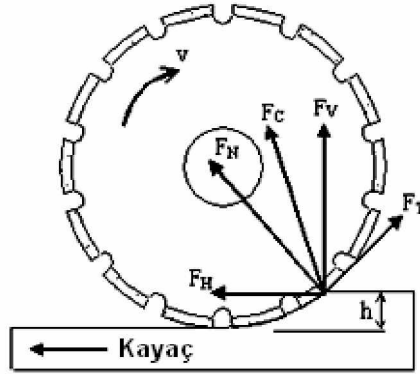


**Şekil 1.** Delik çevresinde çatlak bulunan hasarlı mermer kesme diski

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2. 1 Kesici Diskin Kesme Mekanizması

Mermer kesme işleminde kayacın özelliği diskin performansı açısından belirleyici bir faktördür. Doğal olarak çıkartılan mermerin sertlik indisleri farklılık gösterdiği için diski farklı şekillerde zorlayabilmektedir. Kesilen mermerin özelliği yanında kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme ve soğutma sıvısının etkisi önemli kesme parametreleridir. Kesme işlemi yaparken testere, aşınma, sürtünme, basınç gibi değişik zorlanmalara maruz kalmaktadır. Dolayısıyla bu zorlanmalar diskin dış dibi bölgelerinde ve göbek çapında önemli gerilmelerin nedeni olarak görülmektedir [10]. Bu gerilmeler testerede önemli hasarlara sebep olmakta ve hatta tezgâh başındaki operatör için hayati tehlike arz etmektedir. Bir mermer diskinde kesme esnasında iki temel kuvvet etki eder. Bunlar; teğetsel kuvvet,  $F_T$  ve normal kuvvet,  $F_N$  dir (Şekil 2). Ayrıca, Şekil 2 de yer verilen  $F_C$  kesme kuvveti,  $F_V$  düşey kuvvet ve  $F_H$  ise yatay kuvvettir.



Şekil 2. Diskin kesme esnasında maruz kaldığı kuvvet bileşenleri.

Mermer kesme işleminde deneysel olarak hesaplanan kuvvetlerde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi parametreler dikkate alınmaktadır. Kesme işlemi yapan bir testerede meydana gelen  $F_N$  ve  $F_T$  kuvvetleri deneysel olarak ölçülebilen düşey ve yatay kuvvetlerine bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Buna göre normal kuvvet;

$$F_N = F_V \cos \alpha + F_H \sin \alpha \quad (1)$$

ile ifade edilir. Teğetsel kuvvet ise;

$$F_T = F_V \sin \alpha + F_H \cos \alpha \quad (2)$$

ile hesaplanır. 1 ve 2 eşitliklerden disk üzerindeki kesme kuvveti,

$$F_C = \sqrt{F_N^2 + F_T^2} \quad (3)$$

olarak hesaplanabilmektedir. [10, 11]. Genel olarak bütün kesme işlemlerinde bu formülasyon göz önüne alınıp model için enerji, talaş kaldırma oranları ve kesme hacmi gibi değişik parametreler hesaplanabilmektedir. Çalışmada, 1200 mm çaplı bir dairesel testereden deneysel yöntemle elde edilen kesme kuvvetleri kullanılmıştır [8]. Çalışmada kullanılan kesme kuvvetleri Çizelge 1 de verilmektedir.

**Çizelge 1.** Analizde kullanılan kesme kuvvetleri [8].

Kesme derinliği (mm)	$F_N$ (N)	$F_T$ (N)
30	600	120
65	1380	250
140	3000	650
245	6100	1150

## 2.2. Kesici Disk ve Elmas Soketlerin Mekanik Özellikleri

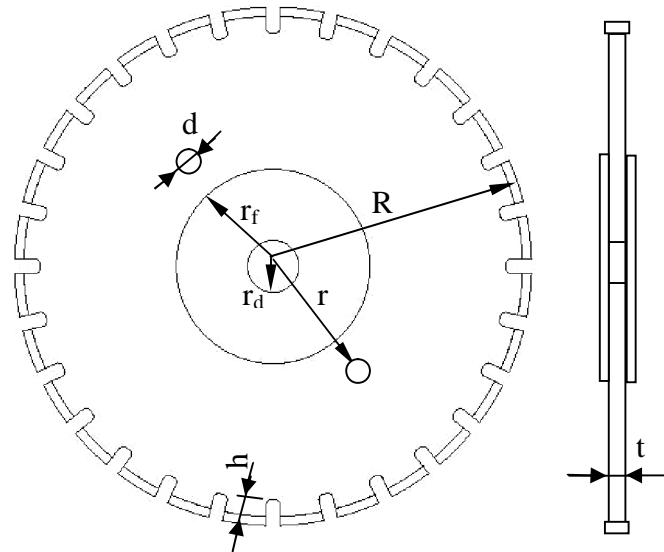
Doğal taş endüstrisinde kullanılan kesici testereler genellikle AISI 1075 yüksek karbonlu çeliklerden imal edilmektedir. Bu çelikler, kaynatılabilme özelliklerini iyileştirmek ve mukavemetini artırmak için ısı işlemlere tabi tutulmaktadır. Asıl kesme işlemi yapan elmas soketler ise; farklı (Co, Ni, Cu, Fe) elementlerin belirli oranlarda karıştırılarak toz metalürjisi yöntemi ile elde edilmektedir. Elementler karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında preslenmektedir. Belirli oranlarda preslenen matriks, özel elektrik fırınlarda sinterlenmektedir. Aşındırıcı özelliğe sahip ve kesme işleminde önemli rol oynayan elmas tanecikler belli oranlarda soket içerisinde katılmaktadır. Analizlerde kullanılan kesici disk ve elmas soketlerin mekanik özellikleri Çizelge 2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Kesici disk ve elmas soketlerin mekanik özellikleri.

	Testere	Soketler
Elastisite Modülü (E) (GPa)	200	120
Yoğunluk ( $\rho$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	7600	8500
Poisson oranı ( $\nu$ )	0.29	0.25

## 2.3 Kesici Diskin Geometrik Modeli ve Özellikleri

Analizlerde kullanılan testerenin geometrik modeli Şekil 3’de verilmiştir. Geometrik model, testere ve elmas soketler olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Kesici disk ve elmas soketlerin geometrik özellikleri ise Çizelge 3 de verilmiştir. Kesici disk ve elmas soketlerin geometrik modeli ilk olarak AutoCAD programında oluşturulmuş ve “igs” uzantılı dosyaya ait veriler ANSYS programına aktarılmıştır.



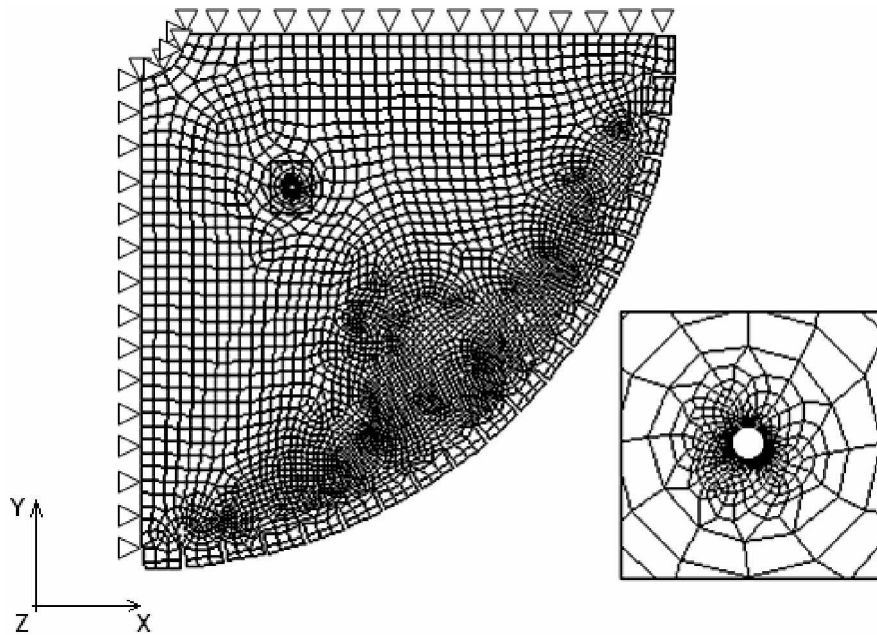
**Şekil 3.** Mermer kesme diskine ait geometrik model.

**Çizelge 3.** Kesici diskin geometrik özellikleri

Delik yarıçapı $r_d$ (mm)	Diş yüksekliği $h$ (mm)	Flanş yarıçapı $r_f$ (mm)	Testere yarıçapı $R$ (mm)	Kalınlık $t$ (mm)
20	21	150	600	Soket 7 Testere 5.5

#### 2.4 Kesici Diskin Sonlu Elemanlar Modeli

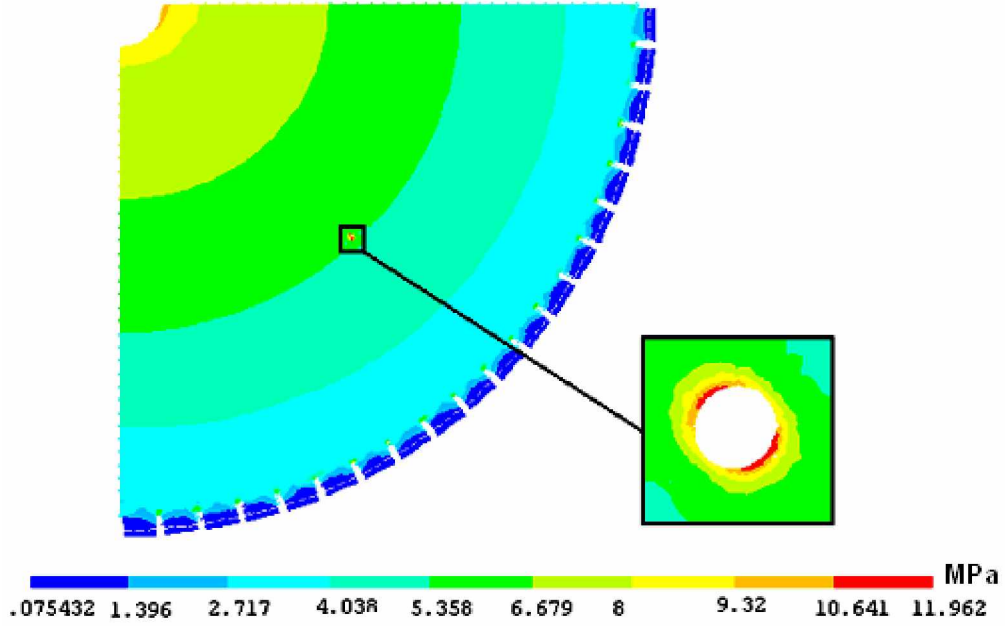
Analizi yapılan dairesel testerenin sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları Şekil 4 de verilmektedir. Kesici diskin sonlu elemanlar modeli simetri olarak düşünülüp ve testerenin sadece ¼'ü nümerik çözümlemede kullanılmıştır. Testere ve elmas soketler 8 düğümlü izoparametrik elemanlı sonlu elemanlar modeli ile oluşturulmuştur. Bununla birlikte, sonuçların doğru irdelenmesi için delik çevreleri daha yoğun mesh yapılarına ayrılmıştır. Testerenin x ve y doğrultusundaki kenarlara aksel simetrik sınır şartı uygulanmıştır. Sonlu elemanlar modelinin eleman sayısı 42012 düğüm sayısı 129438 dir. Testerenin motor miline geçtiği göbek bölgesi x,y ve z eksenlerinde, flanşın testereye temas ettiği alan ise z ekseninde tutulmuştur.



**Şekil 4.** Kesici testerenin sonlu elemanlar modeli ve sınır koşulları

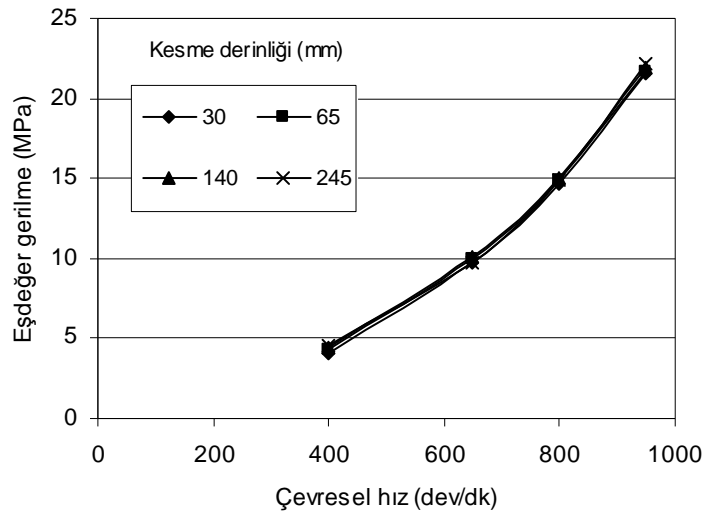
### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Analizlerde, farklı delik çapı, delik mesafesi ve çevresel hızlar ( $v=400, 650, 800, 950$  dev/dk) kullanılmıştır. Testere üzerinde bulunan delik çevresindeki gerilme dağılımı ve maksimum gerilme değerleri elde edilmiştir. Gerilme konsantrasyonun olduğu bölgeler kritik bölgeler olarak tanımlanmakta ve gerilmeler zamanla çatlak şeklinde hasarlara neden olmaktadır Şekil 5 te analizler neticesinde kesici disk üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilme dağılımı verilmiştir. Şekil 5 ten de görüldüğü üzere, delik civarında meydana gelen maksimum gerilmeler testerenin göbek deliği doğrultusundadır. Eğer Şekil 1 dikkatle incelenecek olursa, delikler çevresinde oluşan her iki çatlak ta testerenin göbek deliğine doğru büyüme eğiliminde olduğu görülecektir. Dolayısıyla şekil 5'de elde edilen sonuçlar, Şekil 1 de verilen gerçek durumunu doğrulamaktadır.



Şekil 5. Kesici disk üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilmeler ( $d=30\text{mm}$ ,  $V=650\text{ dev/dk.}$ )

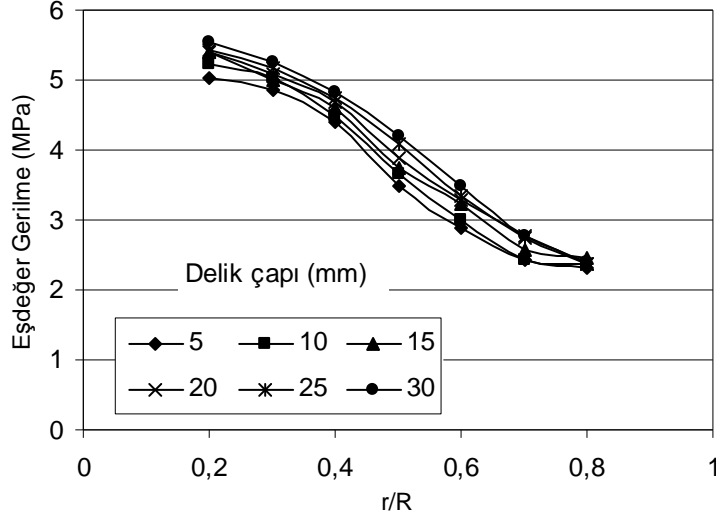
Analizlerde, dört farklı kesme derinliği kullanılmıştır. Kesme esnasında kesme derinliğinin artması ile kesme kuvvetleri azda olsa büyümektedir. Kesme hızına bağlı olarak, farklı kesme derinliklerinde elde edilen eşdeğer gerilmeler Şekil 6'da verilmektedir. Bununla birlikte, özellikle büyük çaplı mermer kesme disklerinde kesme kuvvetinin artması delik çevresindeki gerilme değerlerinde çok fazla artış göstermemektedir. Fakat kesme derinliğinin artması dış dibi bölgelerindeki gerilme değerlerini artırmaktadır. Bu çalışmada, sadece delik çevresindeki gerilmeler göz önüne alındığından ve kesme derinlikleri arasındaki gerilme farklılıkları çok fazla olmadığından dolayı en büyük kesme derinliği olarak 245mm alınmıştır.



Şekil 6. Farklı kesme derinliğine ve çevresel hıza bağlı olarak eşdeğer gerilme değerlerinin değişimi ( $r/R=0,3$ ,  $d=10\text{mm}$ )

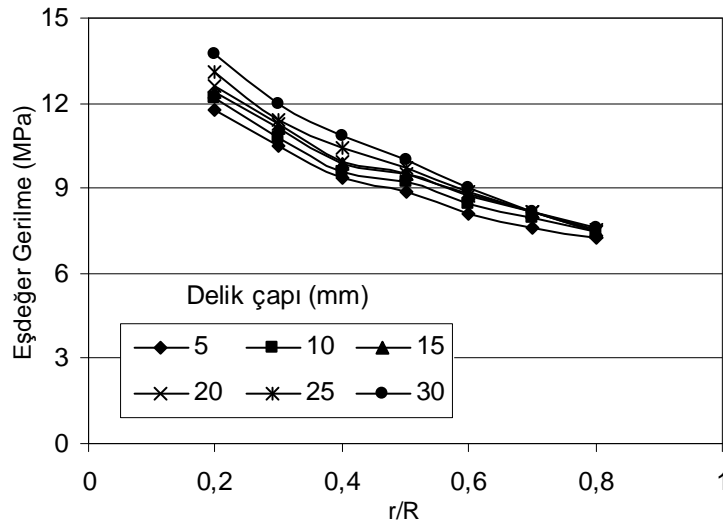
Çevresel hızı 400 dev/dk olan bir dairesel testere üzerindeki eşdeğer gerilmelerin değişimi Şekil 7 de verilmektedir. Delik çapının büyümesi ile kritik bölge olan delik çevresindeki gerilmeleri önemli ölçüde artırmaktadır. Maksimum gerilme değeri 30 mm çapındaki delik de meydana gelmektedir. Testere üzerinde bulunan deliklerin boyutu ve yeri ile ilgili bir standart

bulunmamaktadır. Dairesel testere üzerindeki delikler göbek bölgesinden dış çapa doğru gidildikçe gerilme değerleri önemli ölçüde azalmaktadır. Üzerinde hiçbir delik bulunmayan bir testere üzerinde yapılan analizlerde gerilme değerlerinin merkezden dış çapa doğru bir azalma eğilimi göstermektedir [10]. Bundan dolayı, testere gövdesi ile birlikte özellikle delik çevrelerinde de gerilme değerleri azaldığı düşünülmektedir. Maksimum eşdeğer gerilme değerleri testere göbeğine en yakın yerde elde edilmiştir. Ayrıca, farklı delik sayıları kullanılarak yapılan analizlerde testere üzerindeki delik sayılarının artması gerilmeleri değiştirmedeği görülmüştür.



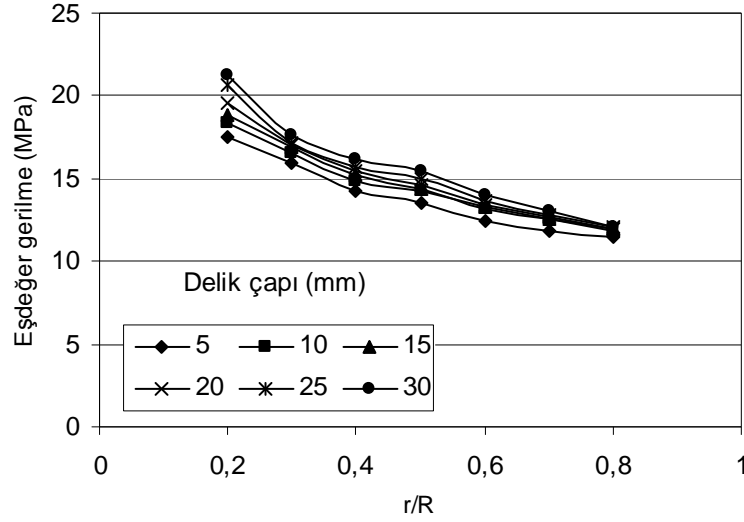
Şekil 7. Delik mesafesine ve delik çapına bağlı eşdeğer gerilmelerin değişimi (V = 400 dev/dk.)

650 dev/dk çevresel hıza sahip dairesel bir diskin çapa bağlı eşdeğer gerilme değişimi Şekil 8 de gösterilmiştir. Maksimum gerilme değeri en büyük delik çapı ve en düşük kesme uzunluğunda elde edilmiştir. Bütün delik çaplarında testerenin dış çapına doğru gidildikçe gerilme değerleri düşmektedir. En düşük gerilme değerleri en dıştaki çapta meydana gelmiştir. Delik çapları arasındaki gerilme farklılığı dış çapa doğru gidildikçe azalmaktadır. Bu gerilme değerleri dış çapta birbiri ile yakın değerler olarak elde edilmiştir.

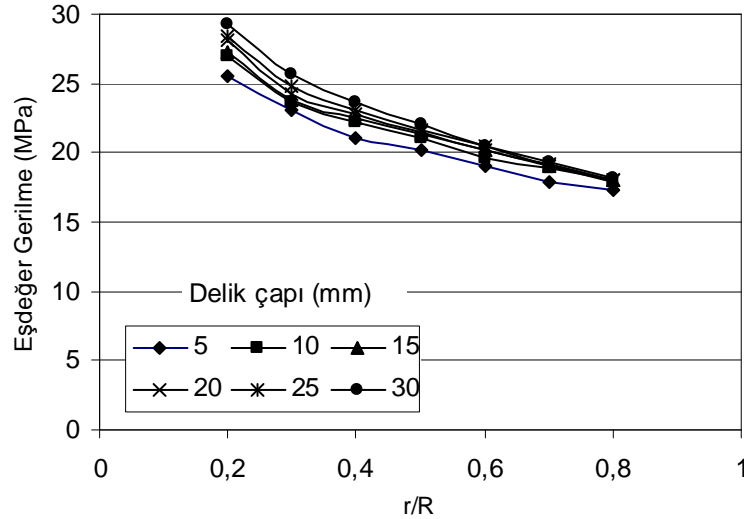


Şekil 8. Delik mesafesine ve delik çapına bağlı eşdeğer gerilmelerin değişimi (V = 650 dev/dk.)

Çevresel hızın etkisi ile özellikle büyük çaplı testelerde yüksek merkezkaç kuvvetleri meydana gelmektedir. Merkez kaç kuvvetleri testere üzerinde meydana gelen gerilmeleri önemli ölçüde arttırmaktadır. Nümerik çözümler neticesinde 800 ve 950 dev/dk çevresel hızlarda elde edilen eşdeğer gerilme dağılımları Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir. Diğer hızlarda olduğu gibi delik çaplarının artması deliğin merkeze yakın olması gerilme değerlerini arttırmaktadır. En büyük gerilmeler 950 dev/dk çevresel hızda elde edilmiştir. Ayrıca, çevresel hızın artması ile en düşük delik çapı ile en büyük delik çapında elde edilen eş değer gerilmeler birbirine daha çok yakınlaşmaktadır.



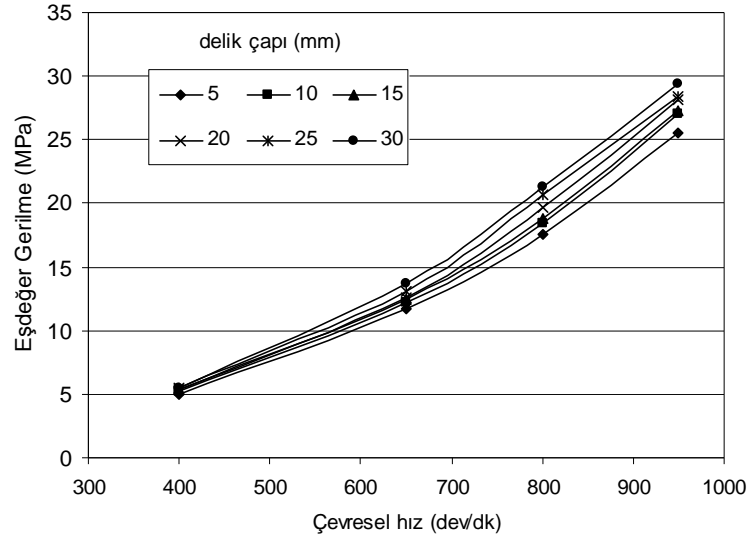
Şekil 9. Delik mesafesine ve delik çapına bağlı eşdeğer gerilmelerin değişimi (V = 800 dev/dk)



Şekil 10. Delik mesafesine ve delik çapına bağlı eşdeğer gerilmelerin değişimi (v= 950 dev/dk)

Kesme hızına bağlı eşdeğer gerilme dağılımı Şekil 11 de gösterilmiştir. Delik çapları arasındaki gerilme farklılıkları kesme hızının artması ile artmaktadır. 400 dev/dk çevresel hızda elde edilen gerilmeler birbiri ile yakın değerler olarak elde edilirken, çevresel hızın artması ile gerilme farklılıkları büyümektedir.





Şekil 11. Çevresel hıza bağlı eşdeğer gerilme dağılımı ( $r/R=0.2$ )

#### 4. SONUÇLAR

Delik çapı, delik mesafesi ve çevresel hızlara bağlı olarak yapılan analizlerde eşdeğer gerilmeler sonlu elemanlar metodu ile belirlenmiştir. Maksimum gerilmeler delik çevresinde elde edilmiştir. Testere üzerindeki delik çaplarının artması bölgedeki gerilmeleri önemli ölçüde artırmaktadır. Diskin dış çapına yakın yerlerde gerilmeler düşme eğilimi göstermiştir. Maksimum gerilmeler çevresel hızın yüksek ve delik çapının büyük olduğu delik bölgelerinde elde edilmiştir. Çevresel hızın disk üzerindeki eşdeğer gerilmeleri belirlemede önemlidir. Çevresel hızın artması ile diskte önemli bir merkez kaç kuvveti meydana gelmekte ve bu durum gerilmeleri artırmaktadır. Özellikler, büyük çaplı testerelede kesme derinliğinin artması ile disk üzerindeki eşdeğer gerilmelerin çok fazla artmadığı görülmüştür. Elde edilen nümerik sonuçlar, mermer kesme disklerinde çatlak oluşum yönünün doğru tahmin edildiğini göstermiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 104M189 no'lu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Taşgetiren, S., Uçun, İ., "Mermer Kesme Diskinin Sonlu Elemanlar Metodu ile Doğal Frekansların Belirlenmesi", **Teknolojik Araştırmalar:MTED**, C 1, s4, sayfa 9-17, 2004
2. Guerra Rosa, L., Amaral, P.M., Anjinho, C.A., Cruz Fernandes, J., "Evaluation of diamond tool behaviour for cutting stone materials", **Industrial Diamond Review**, v 64, n 1, p 45-50, 2004.
3. Brook, B., "Principles of diamond tool technology for sawing rock", **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**, v 39, n 1, p 41-58, 2002.
4. Uçun, İ., Gayretli, A., Taşgetiren S., "Mermer Endüstrisi İçin Düşük Maliyetli ve Yüksek Performanslı Yeni Bir Kesici Elmas Soket Tasarımı", **12. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi (UMTİK)**, Kuşadası-Türkiye, 03-08 Eylül 2007.
5. Büyüksağış, İ.S., Gökten, R.M., "Laboratory Investigation of Marble Sawing Performance Using An Instrumented Block-Cutter", **Int. J. of Machine Tools and Manufacture**, 169, p:258-262, 2005.
6. Konstanty, J., "Theoretical Analysis of Stone Sawing with Diamonds", **J. of Materials Processing Technology**, 123, 146-154, 2002.
7. İ.Uçun, Ş. Talaş, S. Taşgetiren, Failure Analysis of Diamond Segments Brazed Cutting Disc, **The 12th International Conference on Machine Design and Production**, Kuşadası-TURKEY, 03-08 September 2007.

8. Tönshoff, H.K., Wobker, H.G., Przywara, R., “Das Arbeitsverhalten Von Werkzeugen Zum Trennschleifen Von Gestein”, **Ind. Diamond Related**, 3, 93, 12-19, 1996.
9. 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.
10. Uçun, İ., Mermer Kesici Disklerin Sonlu Elemanlar Metodu İle Gerilme ve Titreşim Analizi, A. Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar, Ağustos, 2004.
11. Büyüksağı, I.S. “Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri”, Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 1998.