

Bulanık c-Ortalamalar Yöntemi ile Diz MR Görüntülerinde Menisküs Bölütlemesi ve Yırtık Tespiti

Meniscus Segmentation and Tear Detection in the Knee MR Images by Fuzzy c-Means Method

Ahmet SAYGILI
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye
asaygili@nku.edu.tr

Songül ALBAYRAK
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
songul@ce.yildiz.edu.tr

Özetçe— Medikal görüntüler üzerinde bilgisayar destekli tanı çalışmaları son dönemlerde ivme kazanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar, tıp uzmanlarının işlerini kolaylaştırmakta ve zaman maliyetini azaltmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen bu çalışmada da sagittal düzlemde elde edilmiş 3-B DESS standardında 10 farklı diz MR görüntüsü üzerinde menisküs bölütlemesi ve menisküs yırtıklarının tespit edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bölütleme işlemi ve yırtıkların tespiti için ön işleme aşamasında görüntü işlemede kullanılan morfolojik işlemlerden faydalanılmıştır. Diz eklemi menisküs dokularının bölütlenmesi ve yırtıkların tespit edilebilmesi için bulanık c-ortalamalar (BCO) yönteminden faydalanılmıştır. Menisküs yırtıkları yapılarına göre çeşitlere ayrıldığından seçilen MR görüntülerinin de farklı türlerden olmasına dikkat edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonraki aşamalarındaki hedefi yırtıkların türlerine göre otomatik olarak sınıflandırılması olacaktır.

Anahtar Kelimeler — Tıbbi Görüntü İşleme, Menisküs, BCO-Bulanık C-Ortalama, Menisküs Yırtıkları, Medikal Bölütleme.

Abstract— Computer-assisted diagnosis (CAD) studies on medical images have gained momentum recently. The studies in this area facilitates the work of medical specialists and reduces the time cost. In this study, meniscus segmentation and meniscus tears were performed on 10 different knee MR images in the 3-D DESS standard obtained on the sagittal plane. The morphological operations used in image processing are utilized in the preprocessing stage for segmentation and tear detection. The fuzzy c-means (FCM) method was used to segment the knee joint meniscus tissues and to detect tears. It has been noted that the MR images selected from the meniscus tears differ from each other according to their structures. The next phase of this study will be automatically classified the meniscus according to the types of tears.

Keywords — Medical Image Processing, Meniscus, FCM-Fuzzy C-Means, Meniscus Tears, Medical Segmentation.

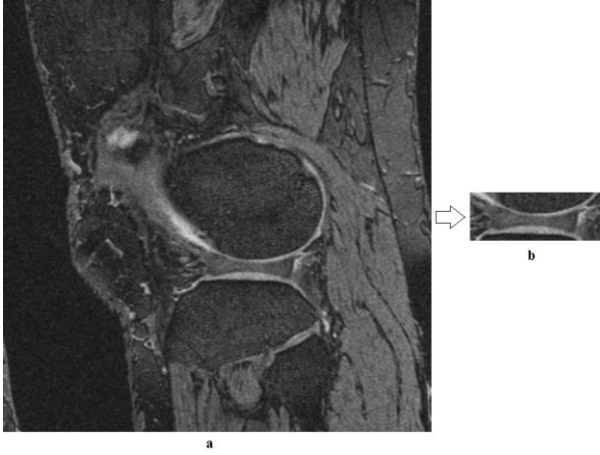
I. GİRİŞ

Görüntü bölütleme dijital görüntü işlemede sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bölütleme (segmentation), bir görüntüyü parçalara veya nesnelere ayıran işlemidir. Görüntü üzerindeki nesnelere (objects) ve sınırları (boundaries) bulmak için kullanılır. Temel olarak bir görüntüyü belirli özelliklere dayalı alt bölümlere ayırmayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla bölütlemenin bir görüntüyü analiz etmeyi kolaylaştırdığını söylemek doğru olacaktır. Görüntü işleme medikal çalışmalarda sıklıkla tercih edilirken, Manyetik Rezonans (MR) Görüntüleme de tıbbi görüntüleme sıklıkla tercih edilmektedir. Tıbbi görüntüler genellikle gürültülü ve karmaşık bir yapıya sahip olduklarından analiz edilebilmesi için belirgin bölütlemeler gereklidir.

Kümeleme, görüntülerin veya nesnelere benzer özelliklere sahip olanlarının aynı grupta olduğu, farklı özelliklere sahip olanlarının da farklı grupta yer aldığı bir süreçtir. Literatürde yer alan kümeleme yöntemleri arasında bulanık c-ortalamalar (BCO) yöntemi kümeler hakkında daha detaylı analiz yapılabilmesini sağlaması sebebiyle popüler bir yöntemdir. BCO, MR görüntülerinin bölütlenmesinde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. BCO'nun en ayırt edici özelliği bir verinin iki veya daha fazla kümeyle ait olabilemesine olanak sağlamasıdır [1]. Özellikle beyin tümörlerinin tespit edilmesinde ve beyin dokularının bölütlenmesinde BCO yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir [2-5]. Diz eklemi MR görüntüleri üzerinde menisküs dokularının segmentasyonu ve menisküs yırtıklarının tespit edilmesi ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [6-10]. BCO yöntemi ile diz MR görüntülerinde menisküs dokularının bölütlenmesi ve yırtıkların görselleştirilerek tespit edilmesi çalışmamızın hedefleridir.

Gerçekleştirdiğimiz bu çalışmada Osteoartrit Girişimi (OAI) tarafından sağlanmış olan 3'ü sağlıklı katılımcı 7'si sağlıklı olmayan katılımcı olmak üzere toplam 10 diz MR görüntüsü kullanılmıştır [11]. Kullanılan görüntüler 3-B DESS standardında ve her bir MR görüntüsü 384×384×160

boyutundadır. Yaptığımız bu çalışmada 2016 yılında yapmış olduğumuz çalışmanın sonuçlarından faydalanılmıştır [12]. 2016 yılında yapılmış olan çalışmada amaç Şekil 1-a'da görülen MR kesit görüntüsü üzerinden menisküs dokularının yer aldığı Şekil 1-b'deki minimum çerçevelerin elde edilmesiydi.



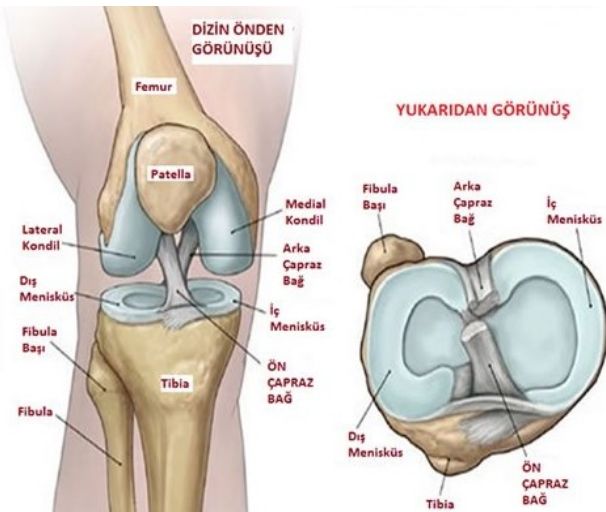
Şekil 1. Menisküs çerçevelerinin elde edilmesi [12]

Bu çalışmada da Şekil 1-b'de görülen bu minimum çerçeveler üzerinde BCO yöntemi ile menisküs dokularının bölütlenmesi ve yırtıkların tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde menisküs dokuları ve menisküs yırtıkları, üçüncü bölümde yöntem, dördüncü bölümde uygulama ve son bölümde sonuç yer almaktadır.

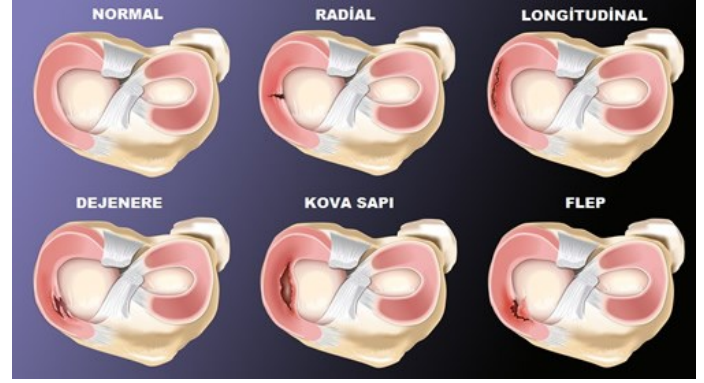
II. MENİSKÜS DOKULARI VE MENİSKÜS YIRTIKLARI

Menisküs dokusu kıkırdaktan oluşan bir diz eklemi yapısıdır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi kaval (tibia) ve uyluk (femur) kemikleri arasında birisi içte diğeri dışta olmak üzere iki tip menisküs bulunmaktadır. Dizdeki hareketlerin gerçekleştirilmesine fayda sağlayan menisküsler, aynı zamanda kaval ve uyluk kemiklerinin sürtünerek aşınmasına da engel olurlar. Bunun yanı sıra menisküslerin diz üzerine uygulanan yükün taşınmasında ve dağıtılmasında, şok emiliminde ve diz yüzeyinin uyumluluğunun artırılmasında görevleri vardır.



Şekil 2. Diz Anatomisi [13]

Menisküs yırtıkları genellikle spor yaparken meydana gelir. Özellikle ani dönme hareketinden menisküs yırtıkları oluşabilmektedir. Menisküs yırtıkları Şekil 3'te görüldüğü gibi yapılarına göre sınıflara ayrılmıştır.



Şekil 3. Menisküs Yırtık Çeşitleri [14]

Sağlıklı bir menisküsün nasıl olması gerektiği ve yırtıkların hangi biçimlerde oluştuğunu Şekil 3'ten görmek mümkündür.

III. YÖNTEM

Çalışmada bölütleme işlemi için Bezdek tarafından 1984 yılında geliştirilmiş olan BCO yönteminden faydalanılmıştır [1]. BCO yöntemi bulanık üyelik değerleri ile pikselleri kümelere atayarak işlem yapar. $X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ şeklinde N pikselden oluşan ve c kümeye ayrılmak istenen bir görüntü olsun. Burada x_i görüntünün çok boyutlu özelliklerini ifade etmektedir. Algoritmanın amacı aşağıdaki J amaç fonksiyonunu iteratif bir işlemle minimize etmektir:

$$J = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^c u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2 \quad (1)$$

Burada u_{ij} , x_j pikselinin i'nci kümedeki üyelik değerini, v_i i'nci küme merkezini, $\|\cdot\|$ norm metriğini ve m değeri de bulanıklaştırma sabitini ifade etmektedir. Çalışmamızda m değeri 2 olarak belirlenmiştir. Piksel değerinin en yakın olduğu kümede maliyet fonksiyonunun değeri minimum olurken üyelik fonksiyonunun değeri maksimum olmaktadır. Üyelik fonksiyonu, bir pikselin belirli bir kümeye ait olma ihtimalini temsil eder. Bir piksele ait üyelik değerlerinin toplamı her zaman 1'e eşittir. BCO algoritmasında olasılık, yalnızca piksel ile özellik alanındaki her bir küme merkezi arasındaki mesafeye bağlıdır. Üyelik değerleri ve küme merkezleri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{2/(m-1)}} \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m} \quad (3)$$

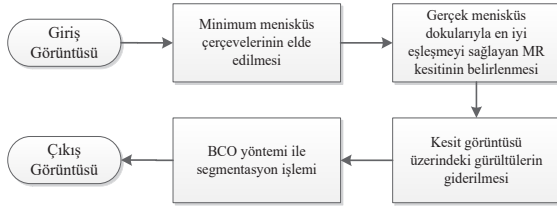
BCO her bir küme merkezi için başlangıçta tahmini değerlerle başlar ve sonlandırma kriteri olarak da iki ardışık yineleme adımında üyelik fonksiyonundaki veya küme merkezindeki değişiklikleri karşılaştırır.

IV. UYGULAMA

Gerçekleştirdiğimiz çalışmanın amacı diz MR görüntülerinde menisküs bölgelerinin segmentasyonu ve menisküs yırtıklarının tespit edilmesidir. Çalışmada OAI girişimi tarafından sağlanmış olan 10 farklı diz MR görüntüsü kullanılmıştır [11]. Seçilen bu görüntüler de dizdeki rahatsızlığın farklı seviyelerinden olmasına dikkat edilmiştir. OAI çatısı altında bir grup araştırmacının yapmış oldukları çalışma sonucunda diz MR görüntülerindeki menisküs dokuları için aşağıdaki gibi farklı yırtık seviyeleri tanımlanmıştır;

- 1) Normal menisküs (Tamamıyla sağlıklı)
- 2) Menisküs yırtığı olarak düşünülemeyecek kadar şiddetli olmayan sinyal anormalliği (Signal abnormality)
- 3) Radyal yırtık (Radial tear)
- 4) Yatay yırtık (Horizontal tear)
- 5) Dikey yırtık (Vertical tear)
- 6) Komple yırtık (Complete tear)
- 7) Kısmi maserasyon (Partial maceration)
- 8) İlerleyici kısmi maserasyon (Progressive partial maceration)
- 9) Komple maserasyon (Complete maceration)

Bizde bu tanımlamalardan faydalanarak menisküs dokularının yer aldığı minimum çerçeveler üzerinde BCO yöntemi ile bölütleme işlemi gerçekleştirip menisküs yırtıklarını gözle görülebilir seviyeye ulaştırmaya çalıştık. Gerçekleştirdiğimiz sistemin akış şeması Şekil 4'deki gibidir;



Şekil 4. Akış şeması

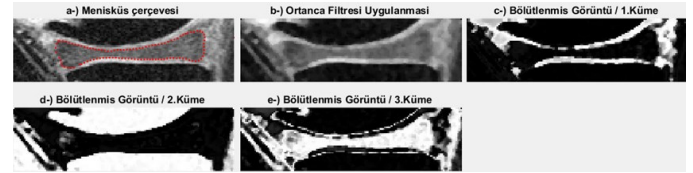
Menisküslerin yer aldığı minimum çerçevelerin elde edilmesi için gerçekleştirilen işlemlerin detayları için 2016 yılında gerçekleştirilen çalışma incelenebilir [12].

Minimum çerçevelerin yer aldığı kesit görüntüleri MR'dan MR'a farklılık göstermekle birlikte yaklaşık 40-45 kesitten oluşmaktadır. Bu aşamada minimum çerçevelerin en iyi örtüşmeyi hangi kesitin hangi çerçevesinin sağladığı bilgisi sistem tarafından tutulmaktadır. İşte bu değerler yardımıyla gerçek menisküs dokularıyla en iyi eşleşmeyi sağlayan MR kesitinin belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından elde edilen görüntü üzerindeki gürültüler giderilmiştir. Bunun için Şekil 5'te görülen 3x3'lük ortanca (median) filtresi uygulanmıştır.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

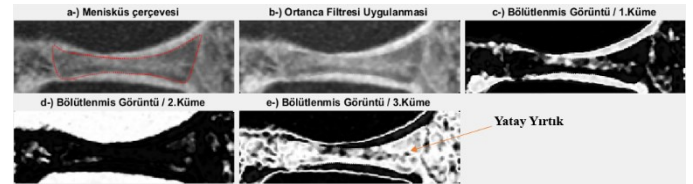
Şekil 5. Ortanca (Median) Filtresi

Gürültülerin giderilmesinin ardından üçüncü bölümde anlatılmış olan BCO yöntemi ile bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. BCO yönteminde farklı küme sayıları denenmiş ve küme sayısı 3, bulanıklaştırma katsayısı da 2 olarak belirlenmiştir. Durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı 500, epsilon değeri de 0.001 seçilmiştir. Epsilon değeri BCO ile belirlenmiş olan küme merkezlerindeki değişim miktarını göstermektedir. Değişim miktarının bu değerden az olması durumunda bölütleme işlemi sonlanacaktır. Şekil 6'te sağlıklı bir diz MR görüntüsünde elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekil 6-a'da menisküsün yer aldığı çerçeve görülmektedir. Kırmızı ile işaretlenmiş bölgeler taban gerçeklik verileri kullanılarak çizdirilmiş olan gerçek menisküs sınırlarını göstermektedir. Şekil 6-b'de ise bu görüntü üzerindeki gürültüleri gidermek için ortanca filtresi uygulanmış görüntü görülmektedir. Şekil 6-c, d ve e'de ise BCO yönteminin sonucunda elde edilmiş olan üç farklı kümenin sonuçları görülmektedir. Bu görüntüler analiz edildiğinde herhangi bir menisküs yırtığı olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Normal (Sağlıklı) Menisküs

Yukarıdaki şeklin aksine Şekil 7'de yatay yırtık olan görüntü için sonuçlar görülmektedir. BCO yöntemi ile elde edilen kümelerden üçüncü küme üzerinde ok işareti ile problemlili bölge gösterilmiştir.



Şekil 7. Yatay Yırtık

Şekil 8'de ise 1 numaralı kümede kısmi maserasyon yani doku kaybı olduğu görülmektedir. Hem menisküs hem de kıkırdak dokularında zedelenmeler olduğu bölütleme sonuçlarından tespit edilebilmektedir.



Şekil 8. Kısmi Maserasyon (Doku Kaybı) Menisküs

Görüntüler incelendiğinde yapılan bölütleme işleminin problemleri menisküs dokularını ortaya çıkardığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar bundan sonra yapılması planlanan, ‘türlerine göre otomatik menisküs sınıflandırılması’ çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır.

V. SONUÇ

MR cihazlarının yüksek çözünürlükte görüntü sağlaması sebebiyle yapmış olduğumuz bu çalışmada da MR görüntülerinden faydalanılmıştır. Radyoloji uzmanlarına verecekleri kararlarda destek sağlamak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma ile zaman ve maliyetin azaltılması hedeflenmiştir. MR görüntülerini değerlendiren uzman radyologların tecrübesi ile hatalı değerlendirme yapma arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bu çalışmanın hedeflerinden biriside bu hata miktarlarının azaltılmasıdır.

Bu çalışma, daha önce yapılan menisküs dokularının yer aldığı minimum çerçevelerin tespit edilmesini amaçlayan çalışmayı daha ileriye taşıyarak menisküs dokularının bölütlenmesine ve menisküs yırtıklarının tespit edilebilmesine olanak sağlamıştır. Diz MR görüntüleri üzerinde menisküs dokularının bölütlenmesi ve yırtıkların tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma ile BCO yönteminin dokular üzerinde radyoloji uzmanlarına destek sağlayacak nitelikte sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Menisküs yırtıkları üzerine gerçekleştirmek istediğimiz çalışmaların önayağı olan bu çalışmanın ardından menisküs yırtıklarının çeşitlerine göre sınıflandırılmasının otomatik bir şekilde yapılması hedeflenmektedir.

BİLGİLENDİRME

OAI, National Institutes of Health (NIH) sermayesiyle beş sözleşmeden (N01-AR-2-2258; N01-AR-2-2259; N01-AR-2-2260; N01-AR-2-2261; N01-AR-2-2262) oluşan bir kamu-özel ortaklığıdır. Özel sermaye ortakları arasında Novartis şirketi, Merck Araştırma Laboratuvarları, GlaxoSmithKline ve Pfizer A.Ş. bulunmaktadır. OAI'nin kamu kullanımına açık veri setini kullanarak hazırlanan bu metin OAI araştırmacılarının, NIH'in veya özel sermaye ortaklarının fikir ya da görüşlerini yansıtmamaktadır.

Ayrıca bu çalışma 116E151 proje numarası ile Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] J. C. Bezdek, R. Ehrlich, and W. Full, "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm," *Computers & Geosciences*, vol. 10, pp. 191-203, // 1984.
- [2] K.-S. Chuang, H.-L. Tzeng, S. Chen, J. Wu, and T.-J. Chen, "Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 30, pp. 9-15, // 2006.
- [3] S. V. A. Kumar, B. S. Harish, and V. N. M. Aradhya, "A picture fuzzy clustering approach for brain tumor segmentation," in *2016 Second International Conference on Cognitive Computing and Information Processing (CCIP)*, 2016, pp. 1-6.

- [4] A. Sehgal, S. Goel, P. Mangipudi, A. Mehra, and D. Tyagi, "Automatic brain tumor segmentation and extraction in MR images," in *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP)*, 2016, pp. 104-107.
- [5] D.-Q. Zhang and S.-C. Chen, "A novel kernelized fuzzy C-means algorithm with application in medical image segmentation," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 32, pp. 37-50, // 2004.
- [6] I. Boniatis, G. Panayiotakis, and E. Panagiotopoulos, "A computer-based system for the discrimination between normal and degenerated menisci from Magnetic Resonance Images," in *2008 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques*, 2008, pp. 335-339.
- [7] Y. Hata, S. Kobashi, Y. Tokimoto, M. Ishikawa, and H. Ishikawa, "Computer Aided Diagnosis System of Meniscal Tears with T1 and T2 Weighted MR Images Based on Fuzzy Inference," in *Computational Intelligence. Theory and Applications: International Conference, 7th Fuzzy Days Dortmund, Germany, October 1-3, 2001 Proceedings*, B. Reusch, Ed., ed Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 55-58.
- [8] C. Köse, O. Gençioğlu, and U. Şevik, "An automatic diagnosis method for the knee meniscus tears in MR images," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 1208-1216, // 2009.
- [9] A. Paproki, C. Engstrom, S. S. Chandra, A. Neubert, J. Fripp, and S. Crozier, "Automated segmentation and analysis of normal and osteoarthritic knee menisci from magnetic resonance images – data from the Osteoarthritis Initiative," *Osteoarthritis and Cartilage*, vol. 22, pp. 1259-1270, // 2014.
- [10] B. Ramakrishna, W. Liu, G. Saiprasad, N. Safdar, C. I. Chang, K. Siddiqui, et al., "An Automatic Computer-Aided Detection System for Meniscal Tears on Magnetic Resonance Images," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 28, pp. 1308-1316, 2009.
- [11] Osteoarthritis-Initiative, "A Knee Health Study," <https://oai.epi-ucsf.org/datarelease/>.
- [12] A. Saygili, H. Kaya, and S. Albayrak, "Automatic detection of meniscal area in the knee MR images," in *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016, pp. 1337-1340.
- [13] Ö. O. Nar, "Diz Ekleminin Anatomisi," <http://www.ozguroktaynar.com/Bursa-ortopedi-diz-anatomisi.html>, Erişim Tarihi: 13 Ocak 2017.
- [14] Ö. S. Uysal, "Menisküs Yırtıkları," http://www.drozguruyisal.com/?page_id=2952, Erişim Tarihi: 13 Ocak 2017.