



Ortopedi ve travmatoloji pratiğinde yapay zekâ uygulamaları

Artificial intelligence applications in orthopaedics and traumatology practice

Özhan Pazarıcı¹, Serkan Akkoyun²

¹SBÜ Adana Tıp Fakültesi, Adana Şehir Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Adana

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Sivas

Yapay zekânın (YZ) kullanımı, tıbbın diğer alanlarının yanı sıra ortopedi ve travmatoloji uygulamalarını da önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu makale, yapay zekânın ortopedi, travmatoloji ve ilişkili alanlardaki çeşitli kullanımlarını incelemekte ve cerrahi operasyonlarda, tedavi planlamasında ve tahmine dayalı analitikte kullanımını vurgulamaktadır. Yapay zekâ teknolojisinin bu alanlarda uygulanması, hasta sonuçlarını iyileştirme, karar alma süreçlerini kolaylaştırma ve genel olarak sağlık hizmeti sunumunu ilerletme potansiyeline sahiptir.

Anahtar sözcükler: yapay zeka; ortopedi; travmatoloji

The use of artificial intelligence (AI) has significantly transformed the practices of orthopedics and traumatology, as well as other areas of medicine. This article examines the various uses of artificial intelligence in orthopedics, traumatology, and related fields, and highlights its use in surgical operations, treatment planning, and predictive analytics. Application of AI technology in these areas has the potential to improve patient outcomes, streamline decision-making processes, and advance healthcare delivery overall.

Key words: artificial intelligence; orthopedics; traumatology

Yapay zeka (YZ) her geçen gün hayatımızda daha fazla yer edinmektedir. Önde gelen kullanım alanlarından biri de sağlıktır. Sağlığta; karar verme, erken tanı, yaşlı bakımı, eğitim, araştırma, teşhis, tedavi ve sağlıklı kalma gibi başlıklarda yapay zekâ uygulamalarını görmekteyiz. Ortopedi ve travmatoloji branşı uzmanlık alanındaki konular ve tedavi ettiği sorunlar düşünüldüğünde YZ alanında en fazla yer alan branşlardan biridir.^[1] Ortopedi ve travmatoloji, kısmen YZ teknolojilerinin kullanımı sayesinde son zamanlarda önemli adımlar atmıştır. Geleneksel olarak insan zekâsı gerektiren faaliyetleri gerçekleştirebilen makineler inşa etmeye odaklanan YZ alanı, sağlık sektöründe kullanım için yüksek bir potansiyele sahiptir. Yapay zekâ, ortopedi ve travmatolojide erken teşhis, bireyselleştirilmiş tedavi rejimleri ve cerrahi hassasiyetin artırılmasına yardımcı olan çözümler sunmaktadır.^[2] Şekil 1'de YZ yöntemlerinin ortopedi ve travmatolojide bazı kullanım alanları gösterildi.

Son dönemde yaşanan COVID-19 salgını da bize sağlık hizmeti planlamasında hasta hacmi tahmininin ne

kadar önemli olduğunu göstermiştir. Hasta kabulünün azalmasıyla hastane yükünün azaltılması ve salgının etkisini azaltmak amacıyla bazı operasyonlar ertelenebilecek olsa da kırık hastalarının tedavisi tedavinin aciliyeti nedeniyle ertelenememektedir. Acil vakaların ihtiyaçları doğrultusunda teşhis ve tedavi yöntemlerinin etkinliğinin artırılması için ameliyathane, insan kaynağı ve ekipman planlaması esastır. Pazarıcı ve ark.'nın 2020 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, acil servise üç yıl içinde başvuran 151.822 hasta, cinsiyet, kırık bölgeleri ve kırık nedenleri olmak üzere üç kategoride incelenmiştir.^[3] Ancak acile başvuran kırık vakaları zaman serisi olarak ele alınarak, gelecekteki kırık vakalarının sayısını tahmin etmek için bir yapay zekâ metodu olan uzun kısa zaman belleği (LSTM) yöntemi kullanılmıştır. Öğrenme aşamasında 30 aylık vaka sayıları kullanılarak, ileriki altı aydaki aylık vaka sayıları tahmin edilmiştir. Tahmini ve gerçek vaka sayıları arasındaki hata oranının ortalama karekök hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve ortalama bağıl hata (MRE) değerleri sırasıyla 1,053, 0,839 ve 0,358 olarak elde edilmiştir. Kırık vakalarının geleceğe yönelik pro-

İletişim / Contact: Doç. Dr. Özhan Pazarıcı • **E-posta / E-mail:** dr.pazarc@gmail.com

ORCID iD: Özhan Pazarıcı, 0000-0002-2345-0827 • Serkan Akkoyun, 0000-0002-8996-3385

Geliş / Received: 18 Ağustos 2023 • **Revizyon / Revised:** 7 Kasım 2023, 21 Kasım 2023 • **Kabul / Accepted:** 23 Kasım 2023

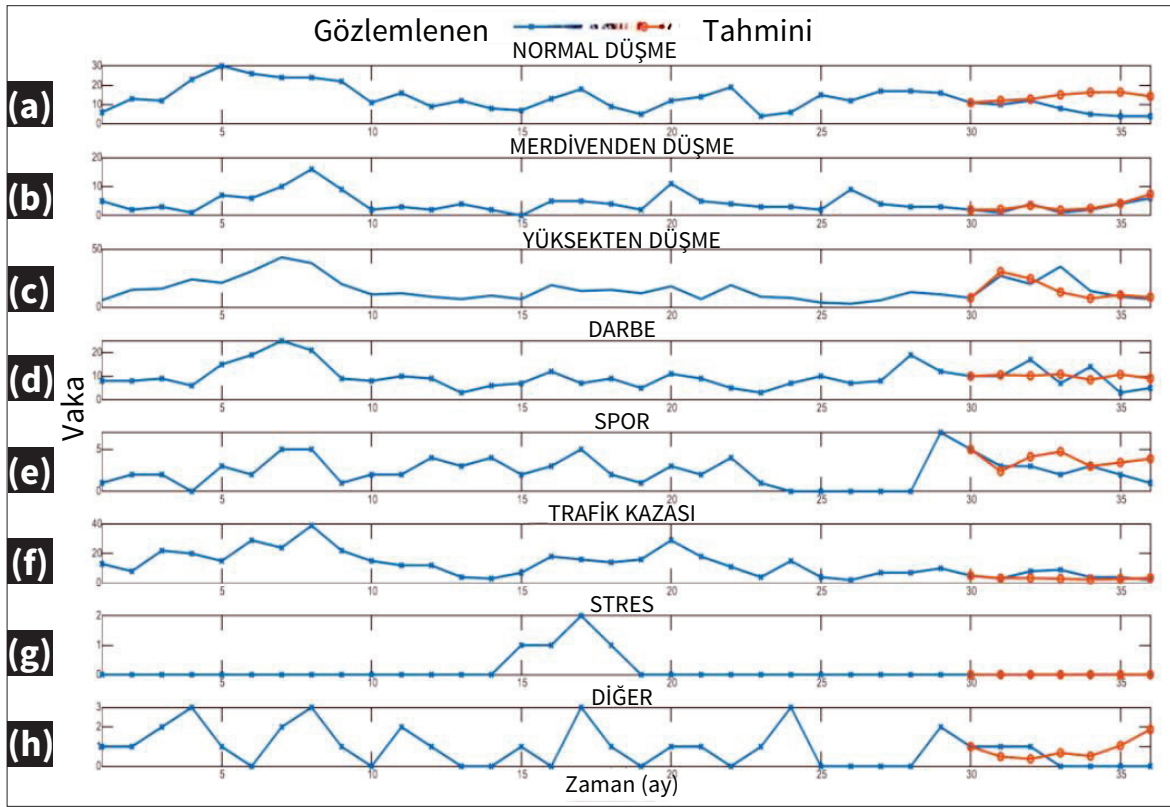


Şekil 1. Yapay zekâ yöntemleri ve ortopedi ve travmatolojide bazı kullanım alanları.

jeksiyonlarının ortadan kaldırılması, acil ile ortopedi ve travmatoloji alanlarında klinik insan kaynaklarının, tıbbi ekipmanların ve hasta hizmetlerinin programlanması açısından oldukça önemlidir. Çalışmada ilk kez derin öğrenme yöntemlerinden biri olan LSTM kullanılarak 30 aylık vaka sayılarından altı aylık vaka sayısı tahmini yapılmıştır (Şekil 2).^[3]

Patellofemoral eklem, kuadriseps kasının kuvvet kolunu genişleterek ve kas kuvvetinin yönünü değiştirerek dizin stabilitesinde rol oynayan diz ekstansiyon mekanizmasının parçalarından biridir. Diz eklemine tamamının ağırsız ve fonksiyonel olarak görevini yerine getirebilmesi için kasların pozisyonları, kuvvetleri, bağların kuvveti ve harekete verdikleri tepkilerin uyumlu olması gerekmektedir. Insall-Salvati (Ins-Sal) indeksi, tibial platonun yeniden konumlandırılmasıyla patellar yükseklikte meydana gelen değişiklikleri, başka bir deyişle patellar tendon uzunluğundaki değişiklikleri göstermek için kullanışlıdır. Patella yüksekliği diz protezi ameliyatı, tibial osteotomi ve ön çapraz bağ rekonstrüksiyonunda dikkate alınması gereken önemli bir değerdir. Distal femur ve proksimal tibianın referans ölçüleriyle patellanın konumu arasındaki morfometrik ilişki, doğal anatominin belirlenmesinde faydalı bir ilişkidir. Otağ ve ark.'nın 2022 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada, alternatif bir yaklaşım yöntemi olarak yapay sinir ağı (YSA) yöntemini kullanarak patella yüksekliği ile femur

distal ve tibia proksimal referans alanları arasındaki ilişki belirlenmiştir.^[4] Insall-Salvati endeksinin tahmin performansını değerlendirmek amacıyla yaş, cinsiyet ve sağ ve sol taraf için referans ölçümlerini içeren altı girdi kombinasyonuna sahip dört YSA modeli oluşturulmuş ve test edilmiştir. Eğitim ve test aşamasında her dört model için *mean square error* (MSE) ve *r* değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, referans ölçümleri ile Insall-Salvati indeksi arasındaki ilişkinin modellenmesi için önerilen yaklaşımın güçlü bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Araştırma, radyografilerin retrospektif olarak incelenmesi yoluyla yürütülen tanımlayıcı bir radyo-anatomik çalışma olup, çalışmaya ölçülen yaş ortalaması 32,96 (16-50 aralığında) olan, 150 kadın ve 150 erkeğin diz ölçümleri dâhil edilmiştir. Ölçümlerdeki hatayı en aza indirmek amacıyla numuneler diz problemi bildirilmeyen bireylerden seçilmiştir. Distal femur ve proksimal tibia ölçümleri her cinsiyetin sağ ve sol tarafı ayrı ayrı ölçülerek yapılmıştır. Ölçümlerdeki hatayı en aza indirmek amacıyla ölçümler aynı operatör tarafından iki kez tekrarlanmıştır. Insall-Salvati endeksinin doğru tahmininde farklı girdi kombinasyonunun etkilerini değerlendirmek amacıyla, altı girişli iki çıkışlı model oluşturmak üzere dört özdeş model eğitilmiş ve altı farklı giriş kombinasyonu ile test edilmiştir. Cinsiyet ve yaş her giriş kombinasyonuna ilk iki girdi olarak dâhil edilmiştir. Üçüncü ve dördüncü girişler ligamentum patella (LP) sağ ve LP sol olarak seçilmiştir. Geri kalan iki giriş ise sağ ve sol ölçümler için *femoral*



Şekil 2. Geçmiş verilere dayanarak gelecek hasta projeksiyonu tahmininde yapay zekâ yöntemlerinin kullanımı ile elde edilmiş şekil.^[3]

bicondylar width (BCW), *intercondylar notch width* (NW), *tibial eminence width* (EW)'den biri olarak seçilmiştir. Diz ekleminin kemik düzenindeki distal femur ölçümlerinden BCW ve NW ve proksimal tibia ölçümlerinden *proximal tibia width* (TW) ve EW için. Bu nedenle önerilen ağ mimarisi, her modelin altı girişine karşılık gelen dört nöronlu bir giriş katmanından oluşmaktadır. Ağın diğer kısımları, her birinde dört nöron bulunan bir gizli katmandan, sol ve sağ Insall-Salvati indekslerine karşılık gelen iki nörona sahip bir çıkış katmanından oluşmuştur. Elde edilen sonuçlara ait MSE ve r değerleri 0,005 ve 0,93 civarlarında elde edilmiştir.^[4]

Patellanın malpozisyonu patellofemoral ağrı sendromunun ve patellar instabilitenin bir işareti olarak kabul edilir. Patellofemoral ağrı sendromu, fiziksel aktivite yapan kişilerde ve gençlerde görülen genel bir diz hastalığıdır. Patellofemoral bozukluk patellofemoral ağrının başlaması için tek başına yeterli değildir. Patellar bozukluğun belirlenmesinde kuadriseps açısı (Q açısı) veya patellanın medio-lateral lokasyon ölçümleri kullanılabilir. Hastalar çeşitli patellar düzen örnekleri gösterebilir. Patellofemoral ağrı sendromu olan tüm olgularda patellofemoral bozukluklar tanımlanmıştır. Otağ ve ark.'nın 2014 yılında yaptıkları çalışmada, 60 erkek ve 60 kadın gönüllünün sağ ve sol dizleri ölçülerek, ölçümlerden

elde edilen mesafeler kullanılarak YSA yöntemiyle ligamentum patella açısı tahmin edilmiştir.^[5] Sonuçlara göre yöntemin bu açıyı tahmin etme yeteneğine sahip olduğu rahatlıkla söylenebilmiştir. Yapay sinir ağı test verilerine ait ilgili kök ortalama kare hatası 0,488 ile 1,188 arasındadır. Kadınlarda bu açılar erkeklere göre iki kat daha büyüktür. Patellofemoral bozukluk riskinin kadınlarda erkeklerden daha fazla olduğu görülmüştür. Ligamentum patella açısını tahmin etmek için insan dizindeki bazı anatomik noktalar arasında ölçülen mesafeler kullanılmıştır. Çalışmada, eşit sayıda kadın ve erkeğe ait olan toplam veri sayısı 240'tır. Ayrıca her cinsiyette sol ve sağ diz için eşit sayıda veriler bulunmaktadır. Çalışmanın başlangıç noktasında her bir tarafa ve cinsiyete ait tüm veriler dikkate alınmıştır. Bilinmeyen veriler üzerinde LP açısı tahmini için, oluşturulan YSA güvenle kullanılabilirliği gösterilmiştir. Test verilerinde YSA tahmininin ölçümden maksimum sapması yöntemin bu uygun kullanımını desteklemektedir. Yöntemin avantajı yalnızca referans hattındaki mesafeleri kullanmasıdır.

İskelet bileşenleri, popülasyonlar arasında metrik olarak farklılık gösterir. Bu farklılıklar çevresel ve genetik faktörlerle ilişkilidir. Bu nedenle iskelet sistemindeki farklılıklar popülasyonların ırksal özelliklerinin belirlenmesine yardımcı olabilir. Antropometrik iskelet ölçümleri aynı

popülasyon veya farklı popülasyonlar arasındaki bölgesel farklılıkların belirlenmesinde faydalıdır. Ayrıca iskelet ölçümleri ve kemiğin şekli, kırık risk faktörünün belirlenmesinde klinisyene yol gösterebilir. Adli patoloj ve fiziksel antropologlar için ölen kişinin kimliğinin tespitinde iskelet kalıntıları büyük önem taşımaktadır. Osteometri, cinsiyet, boy, ırk, vücut ağırlığı, vücut yapısı ve ölüm anındaki yaş tahmininin bir parçası olan boy tahmini için tıbbi-yasal araştırmalarda önemlidir. Femur, ölümden sonra iskeletin iyi korunmuş bir bölümdür. Bu nedenle adli bilimler, fiziksel antropoloji ve anatomi alanında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca femur morfometrisi cinsiyet veya yan (sol veya sağ) farklılıkların bulunmasında yardımcı olur. Femur ayrıca belirli popülasyonların özelliklerini de gösterir. Femur uzunluğu bireysel boy hesaplamasında önemlidir. Otağ ve ark.'nın 2016 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, femur uzunluğunu tahmin etmek için YSA yöntemi kullanılmıştır. Toplamda 230 adet femur örneği ele alınmış ve yöntemin üç girdi parametresi, trokanter majör üst noktası ile trokanter minör alt noktası arasındaki mesafe, kaput femoris çapı ve kollum femoris çapıdır. Bu parametreler kullanılarak femur uzunluğunun YSA yöntemiyle tahmini yapılmıştır. Sonuçlar yöntemin bu tahmini gerçekleştirebildiğini göstermektedir. Ayrıca cinsiyet ayrımcılığı da %82 doğrulukla gerçekleştirilmiş ve elde edilmiştir. Cinsiyet veya taraf farklılıkların belirlenmesinin yanı sıra proksimal femurun morfometrisi de cerrahi işlemler için gerekli ve önemlidir. Çalışmada, femur proksimalinde, altı farklı anatomik noktayı belirlenmiş ve ölçülmüştür. Femur uzunluğunu tahmin etmek için bu proksimal femur ölçümleri kullanılmıştır. Eğitim ve test adımlarında kullanılan femur uzunluğunun ortalama değerleri sırasıyla 42,33 ve 42,62 cm olup, YSA tahminlerine ait karşılık gelen ortalama kare hataları 1,40 ve 1,45 cm olarak hesaplanmıştır. Yapay sinir ağı tahminlerinin gerçek değerlerden maksimum sapmaları test ve eğitim verilerinde sırasıyla 3,08 ve -3,04 cm'dir. Sonuçlar, YSA yönteminin femur uzunluğunu tahmin etmek için uygun bir araç olduğunu göstermektedir. Çalışmada, sonuçların adli vakalarda ve antropolojik araştırmalarda faydalı olabileceği, anatomik ölçümlerin cerrah için faydalı olabileceği ve bu nedenle proksimal femur morfometrik ölçümleri vasküler, metabolik veya travmatik nedenlerle yapılacak cerrahi işlemlere yön verebileceği ifade edilmiştir.^[6]

Ortopedi ve travmatoloji teşhis prosedürleri, yapay zekâ destekli görüntüleme analizi sayesinde önemli bir dönüşüm geçirmiştir. X-ışınları, bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları ve manyetik rezonans görüntülemeler (MRG) gibi radyolojik görüntülemelerde, makine öğrenimi

algoritmaları anomalileri, kırıkları ve diğer kas-iskelet sistemi sorunlarını etkili bir şekilde tespit edebilir.^[7] Ayrıca bu algoritmalar kemik yoğunluğu ve eklem sağlığına ilişkin sayısal değerlendirmeler sunarak osteoporoz ve artrit gibi hastalıkların erken teşhis edilmesine yardımcı olabilir.^[8]

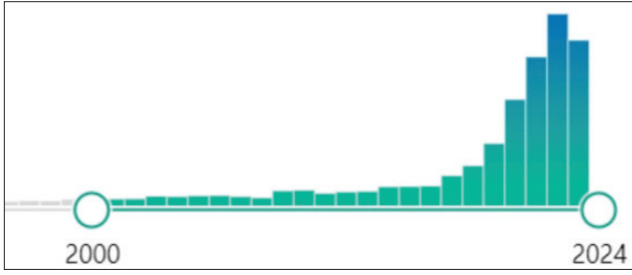
Mümkün olan en iyi hasta bakımı için bireyselleştirilmiş tedavi planları esastır. Bireyselleştirilmiş tedavi planları önermek için yapay zekâ sistemleri tıbbi geçmiş, görüntüleme bulguları ve genetik bilgiler dâhil olmak üzere hasta verilerini inceler. Bu sadece hastaların en iyi müdahaleleri almasını garanti etmekle kalmaz, aynı zamanda sorun olasılığını azaltır ve iyileşmeyi hızlandırır.^[9]

Yapay zekâ, çeşitli değişkenleri ve büyük veri kümesinin analizini kullanarak hasta sonuçlarını tahmin edebilir.^[3] Ameliyat sonrası komplikasyon olasılığı, hastanın rehabilitasyon programlarına uyumu ve bazı kas-iskelet sistemi sorunlarının seyri, öngörücü modeller kullanılarak tahmin edilebilir.^[4] Bu bulgular, tıp uzmanlarının tedavi stratejilerini proaktif olarak değiştirmelerine ve hasta bakımını geliştirmelerine yardımcı olur.

Cerrahi prosedürler sırasında yapay zekâ destekli teknolojiler gerçek zamanlı rehberlik sağlar ve cerrahi hareketlerin doğruluğunu artırır.^[10] Yapay zekâ, cerrahlar tarafından zor prosedürleri prova etmek, ameliyatları taklit etmek, insizyon yapmak ve implantları yerleştirmek için en iyi yerler öneriler sağlamak için kullanılabilir. Bu, hata olasılığını azaltır ve cerrahi süreci hızlandırır.^[11]

Yapay zekâ destekli teknolojiye sahip giyilebilir cihazlar, terapi sırasında hastanın hareketlerini takip edebilir ve anında geri bildirim verebilir. Bu araçlar egzersiz uyumunu ve ilerlemeyi izleyerek sağlık uzmanlarının rehabilitasyon programlarını gerektiği gibi değiştirmesine olanak tanır. Yapay zekâ destekli uzaktan izleme ayrıca ameliyat sonrası bakımı iyileştirirken yüz yüze ziyaretlerin sıklığını da azaltır.^[12]

Yapay zekâ ortopedi ve travmatoloji alanında büyük bir potansiyele sahip olsa da aşılması gereken engeller vardır. Çözülmesi gereken sorunlardan bazıları veri gizliliğinin sağlanması, çeşitli hasta gruplarında algoritmaların doğruluğunun korunması ve YZ'nin mevcut sağlık sistemlerine sorunsuz bir şekilde dâhil edilmesidir. Ayrıca, sağlık çalışanlarının YZ tarafından üretilen içgörülerini değerlendirmek ve kullanmak için uygun şekilde eğitilmesi gerekmektedir.^[13] Ortopedi ve travmatoloji alanında YZ ile ilgili çalışmalar ve bu alana ilgi her geçen gün artmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Ortopedi ve travmatoloji alanında yapay zekâ çalışmalarının yıllar içerisinde artışı. (Ekim 2023 tarihli 'artificial intelligence and orthopaedics' anahtar kelimeleri kullanılarak Pubmed'te yapılan arama sonrası elde edilen grafik).

SONUÇ

Ortopedi ve travmatoloji, sağlık alanında yapay zekâ yaklaşımlarından en çok yararlanan branşlar arasında yer almaktadır. Yapay zekâ; teşhis ve tedavi planlamasını destekleyerek, cerrahi hassasiyeti arttırarak ve gelecek öngörüsü analizlerini mümkün kılarak hasta bakımını iyileştirmekte, tıbbi uygulamaları değiştirmektedir. Bu teknolojilerin ortopedi ve travmatoloji uygulamalarına dâhil edilmesi, bakım kalitesini daha da yükseltme potansiyeline sahiptir. Daha iyi yapay zekâ sistemleri geliştikçe daha umut verici bir geleceğin kapıları açılacaktır.

KAYNAKLAR

- Panchmatia JR, Visenio MR, Panch T. The role of artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Br J Hosp Med* 2018;79(12):676-81. [Crossref](#)
- Lisacek-Kiosoglous AB, Powling AS, Fontalis A, Gabr A, Mazomenos E, Haddad FS. Exploring its applications, limitations, and future direction. *Bone Joint Res* 2023;12(7):447-54. [Crossref](#)
- Pazarcı O, Torun Y, Akkoyun S. Estimation of the future fracture epidemiology in the patients applying to the emergency department with long short time memory method. *Cumhuriyet Science Journal* 2020;41(3):741-6. [Crossref](#)
- Otağ İ, Çimen K, Torun Y, Pazarcı Ö, Akkoyun S, Otağ A, et al. Modeling of patella height with distal femur and proximal tibia reference points with artificial neural network. *J Mech Med Biol* 2022;22(02):2250015. [Crossref](#)
- Otağ İ, Otağ A, Akkoyun S, Çimen M. A way in determination of patellar position: Ligamentum patellae angle and a neural network application. *BBE* 2014;34:184-8. [Crossref](#)
- Otağ İ, Otağ A, Akkoyun S, Çimen M. Estimation of the femur length from its proximal measurements in Anatolian Caucasians by artificial neural networks. *Aust J Forensic Sci* 2016;48(3):279-86. [Crossref](#)
- Myers TG, Ramkumar PN, Ricciardi BF, Urish KL, Kipper J, Ketonis C. Artificial intelligence and orthopaedics: An introduction for clinicians. *J Bone Jt Surg* 2020;102(9):830-40. [Crossref](#)
- Martin RK, Ley C, Pareek A, Groll A, Tischer T, Seil R. Artificial intelligence and machine learning: An introduction for orthopaedic surgeons. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30(2):361-4. [Crossref](#)
- Makhni EC, Makhni S, Ramkumar PN. Artificial intelligence for the orthopaedic surgeon: An overview of potential benefits, limitations, and clinical applications. *J Am Acad Orthop Surg* 2021;29(6):235-43. [Crossref](#)
- Torun Y, Ozturk A, Aksoz A, Pazarcı O. Parameters Estimation of Orthopedic Drill. İçinde: 2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) [Internet]. Sivas, Turkey: IEEE 2019 (02 Eylül 2023). s. 1-4. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8806501/> [Crossref](#)
- Torun Y, Pazarcı Ö. Parametric power spectral density estimation-based breakthrough detection for orthopedic bone drilling with acoustic emission signal analysis. *Acoust Aust* 2020;48(2):221-31. [Crossref](#)
- Fayed AM, Mansur NSB, De Carvalho KA, Behrens A, D'Hooghe P, De Cesar Netto C. Artificial intelligence and ChatGPT in orthopaedics and sports medicine. *J Exp Ortop* 2023;10(1):74. [Crossref](#)
- Farhadi F, Barnes MR, Sugito HR, Sin JM, Henderson ER, Levy JJ. Applications of artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Front Med Technol* 2022;4:995526. [Crossref](#)