

Yapay zekâ ve robotik artroplastinin geleceği

The future of artificial intelligence and robotic arthroplasty

Cemil Yıldız¹, Özgür Selim Uysal², Abdurrahman Yılmaz³

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

²Özel Yüzüncü Yıl Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

³Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

Gelişen teknolojilerin etkisiyle ortopedik cerrahide yapay zekâ ve robotik sistemlerin kullanımı hızla yaygınlaşmakta, daha hassas, güvenli ve kişiselleştirilmiş cerrahi uygulamalara olanak sağlamaktadır. Özellikle artroplasti alanında robotik cerrahi sistemlerin entegrasyonu, implant yerleşiminin doğruluğunu arttırmakta, iyileşme sürecini hızlandırmakta ve protez ömrünü uzatmaktadır. Robotik platformlara yapay zekâ algoritmalarının eklenmesi, cerrahi otonomi, karar destek mekanizmaları ve cerrahi güvenlik gibi alanlarda önemli gelişmeler yaratmıştır. Günümüzde kullanılan sistemler arasında MAKO, ROSA, CORI ve Cuvis gibi platformlar farklı seviyelerde otonomi, planlama, navigasyon ve veri analizi yetenekleri sunmaktadır. Yapay zekâ destekli cerrahi sistemler, görüntü tanıma, segmentasyon, dokusal geri bildirim ve gerçek zamanlı analiz gibi özelliklerle cerrahin karar verme sürecine katkı sağlamaktadır. Ayrıca artırılmış gerçeklik gibi teknolojiler, üç boyutlu bilişsel cerrahiye olanak tanıyarak cerrahi hassasiyeti daha da arttırmaktadır. Bu teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, gelecekte kişiye özel, otonom ve daha az komplikasyon riski taşıyan robotik artroplast ameliyatları standart uygulamalar hâline gelebilecektir.

Anahtar sözcükler: yapay zekâ; robotik cerrahi; artroplasti; robotik artroplasti; robotik diz protezi; robotik kalça protezi

The development of technology is facilitating the rapid integration of artificial intelligence and robotic technologies into orthopedic surgery, resulting in more precise, safer, and individualized surgical procedures. In the domain of arthroplasty, the implementation of robotic surgical systems has markedly enhanced the precision of implant placement, expedited the postoperative recovery, and prolonged the durability of prostheses. The implementation of artificial intelligence algorithms in robotics has significantly enhanced their autonomous surgical capabilities, facilitated decision-making, and ensured procedural safety. Existing systems, like MAKO, ROSA, CORI, and Cuvis, provide diverse degrees of autonomy, surgical planning, navigation, and data processing functionalities. AI-assisted surgical systems enhance the surgeon's intraoperative decision-making by providing features such as image identification, anatomical segmentation, haptic feedback, and real-time analysis. Furthermore, the utilization of augmented reality technologies enhances three-dimensional cognitive surgery, hence increasing surgical precision. We anticipate that robot-assisted arthroplasty operations, distinguished by personalization, autonomy, and diminished complication risks, will become normal treatment in the near future as these technologies gain prevalence.

Key words: artificial intelligence; robotic surgery; arthroplasty; robotic arthroplasty; robotic knee replacement; robotic hip replacement

Teknolojik gelişmelerin hızlı dönüştürücü etkisini gözlemlediğimiz hassas cerrahi çağı (*precision surgery era*) içerisinde ortopedi ve travmatoloji alanında birçok yeni cihaz, uygulama ve tekniklerin pratiğimize girmesiyle birlikte yüksek hassasiyet ve düşük komplikasyon oranlarında minimal invaziv yaklaşımlarla ameliyatların yapılabilmesi mümkün olabilmektedir.^[1-5]

Günümüzde robotik cerrahi sistemlerde (platformlarda) ileri teknolojiler kullanılmaktadır. Robotik art-

roplastideki yenilikçi gelişmelerle birlikte kusursuz olarak implantın yerleştirilebilmesi, daha hızlı iyileşme ve daha uzun protez ömrü gibi avantajlar elde edilebilmektedir.^[6] Bu yeni gelişmeler klinik pratiğimizde hızla yer bulmaktadır. 2030 yılına kadar her üç total kalça artroplasti ameliyatından ikisinin, total diz artroplastisinde ise her iki ameliyattan birisinin robotik olarak yapılacağı öngörülmektedir.^[5,7,8]

İletişim / Contact: Prof. Dr. Cemil Yıldız • E-posta / E-mail: cemilyildiz@icloud.com

ORCID ID: Cemil Yıldız, 0000-0001-7526-6071 • Özgür Selim Uysal, 0000-0002-6433-7548 • Abdurrahman Yılmaz, 0000-0003-0060-6654

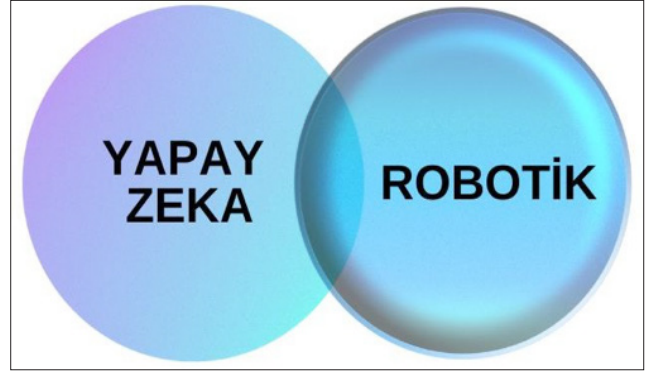
Geliş / Received: 29 Mayıs 2025 • **Revizyon / Revised:** 16 Haziran 2025 • **Kabul / Accepted:** 18 Haziran 2025

Yapay Zekâ Destekli Robotik Artroplast

Robotik mühendisliği, otonom olarak iş yapabilen mekanik araçlar olan robotların yapımına ve çalıştırılmasına odaklanan bir mühendislik alanıdır. Robotik sistemlere gelişmiş akıllı yazılımların entegrasyonu ile kabiliyetleri giderek artmaktadır. Temel tanımıyla yapay zekâ (YZ), kendi kendine öğrenebilen bilgisayar programları geliştirmemize yardımcı olan bir bilgisayar bilimi alanıdır. Veri girilerek onların bu verilerden öğrenmesi sağlanır ya da sensörler ve girdiler kullanılarak algoritmaların kendi kendine öğrenmesine yardımcı olunur. Robotik cerrahi sistemler YZ modellerinin (makine öğrenmesi, derin öğrenme, evrimsel sinir ağları, büyük dil modelleri, bilgisayar görüşü vb.) ameliyata yardımcı yeteneklerinin daha da geliştirilmesi için oldukça ideal teknolojik cihazlardır.^[9,10] Gelişmiş YZ algoritmalarının kullanılmasıyla birlikte robotik artroplastide paradigma değişikliklerini göreceğiz.

Genel olarak değerlendirdiğimizde robotik cerrahi sistemlerde her zaman YZ bulunmayabilir ya da belirli seviyelerde bulunabilir (Şekil 1).

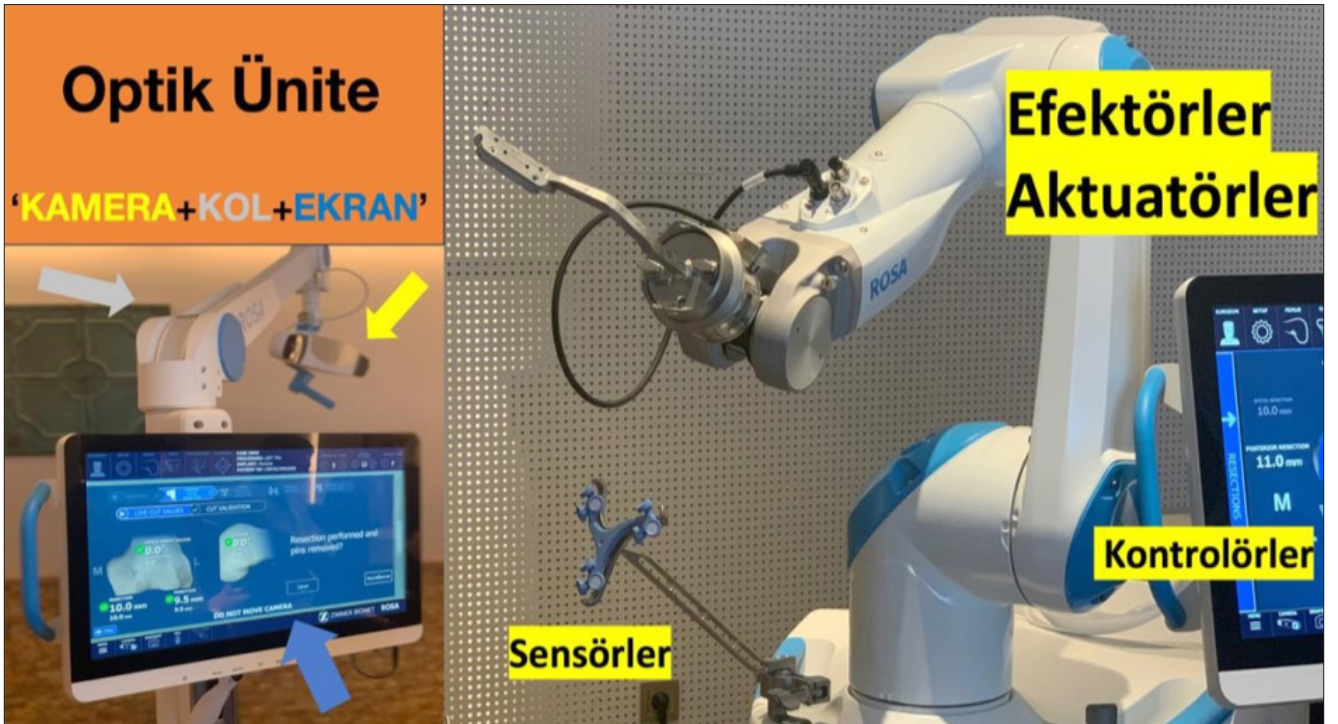
Yapay zekânın robotik cerrahiye ilk entegrasyonu, dikiş atma veya doku diseksiyonu gibi belirli cerrahi görevlerin otomatikleştirilmesi görevleriyle olmuştur. Daha sonra YZ algoritmaları görüntü tanıma (*image analysis*) ve segmentasyon gibi yeteneklerle gerçek zamanlı olarak vücut yapılarını tanıyıp, analiz edip ver-



Şekil 1. Ortopedik robotik sistemlerde (platformlarda) YZ ve robotik örtüşerek sinerji oluşturmaktadır. Yapay zekâ entegrasyonu ile robotik sistemler gelecekte daha fazla oranda gelişmiş karar alabilme ve otomatik kabiliyetlerine sahip olabileceklerdir.

dikleri geri bildirimlerle cerraha karar alma süreçlerinde bir asistan gibi yardımcı olmaya başlamışlardır.^[9,11] Yapay zekâ alanındaki hızlı gelişmelerle devrimsel uygulamalar günlük pratiğimizde her alanda etkin olarak yer bulduğu gibi ortopedik robotik platformlarda yazılım kısmında da etkin değişikliklere sebep olmuştur.

Ortopedik cerrahi robotlar yerleşik ve harici sensörler ve farklı özellikteki kameralar sayesinde etrafı anlayarak uyarlanabilir ve davranış geliştirebilir (Şekil 2). Buna robotun makine öğrenmesi ve YZ'si de denilebilir. Yeni geliştirilmekte olan platformlarda robotik ve YZ birleştiğinde robot vücut YZ ise beyin gibi işlev görür hâle gelmiştir.



Şekil 2. Kuvvet sensörleri ile donatılmış hidrolik temelli, kompakt, ağır ve hantal bir yapıdaki robotik kol bu yapıya ile esnemezlilik ve eğilmezlik özelliğine sahiptir. Bu sayede hata toleransı oldukça azdır. Haptik ve yarı otonom (*semi-otonom*) olarak çalışır. Optik ünite sınıf 2 lazer içeren kameradan, dokunmatik bir ekrandan ve koldan oluşmaktadır (Zimmer Biomet ROSA Knee).

Güncel Ortopedik Cerrahi Robot Platformlarının Teknik Özellikleri

Geleneksel ameliyat tekniklerine alternatif olarak ortaya çıkan robotik cerrahi sistemlerin ortopedi alanındaki kullanımı 30 yılı aşmıştır.^[12] Bazı robotlar kullanımdan tamamen kalkarken bir kısmı gelişerek markette yer edinmişlerdir. Devam edebilen sistemlerin gerek donanım gerek yazılım olarak zaman içinde farklı versiyonları kullanıma girmiştir. Günümüzde özellikle YZ alanındaki gelişmelerle birlikte yazılım güncellemeleri (versiyonları) hız kazanmıştır (Şekil 3).^[13]

Ticari olarak bulunan robotik sistemler otonomi seviyelerine, navigasyon ve planlama yazılımlarına, ameliyat sırasındaki geri bildirimlerine göre, kullandığı implant çeşitliliklerine göre farklılaşmaktadır. Yakın gelecekte bu platformlara entegre edilecek farklı YZ temelli eklentilerle yeni cerrahi yeteneklerin ortaya çıkacağı beklenmektedir (Tablo 1).

Yapay Zekâ Desteğinin Robotik Cerrahi Platformlara Sağladığı Avantajlar

Günümüzde YZ desteğiyle birlikte robotik cerrahi sistemler artık farklı avantajlar sunmaya başlamıştır. Özellikle ameliyat sırasında robotik sistemleri kullanır-

ken YZ'nin sağladığı yeni gelişmeleri başlıca üç madde hâlinde sınıflandırabiliriz (Şekil 4)^[9];

- Robotik otonomi
- Cerrahi değerlendirme ve geri bildirim
- Cerrahi güvenliğin artırılması

Ameliyat yapış şeklimizi ve tekniklerimizi ezber bozan bir şekilde değiştiren YZ destekli teknolojilerin hâlâ kısıtlılıkları mevcuttur. Diğer taraftan, kısa sürede getirdiği avantajlar gelecek için oldukça umut vericidir (Tablo 2). Akıllı ortopedi teknolojileri içinde YZ ile eğitilebilen, sonra kendi kendine öğrenip muhakeme yürüterek karar verebilen robotik sistemlerin kullanımının artmasıyla birlikte cerrahi hassasiyet daha da ileriye taşınabilecektir.^[7]

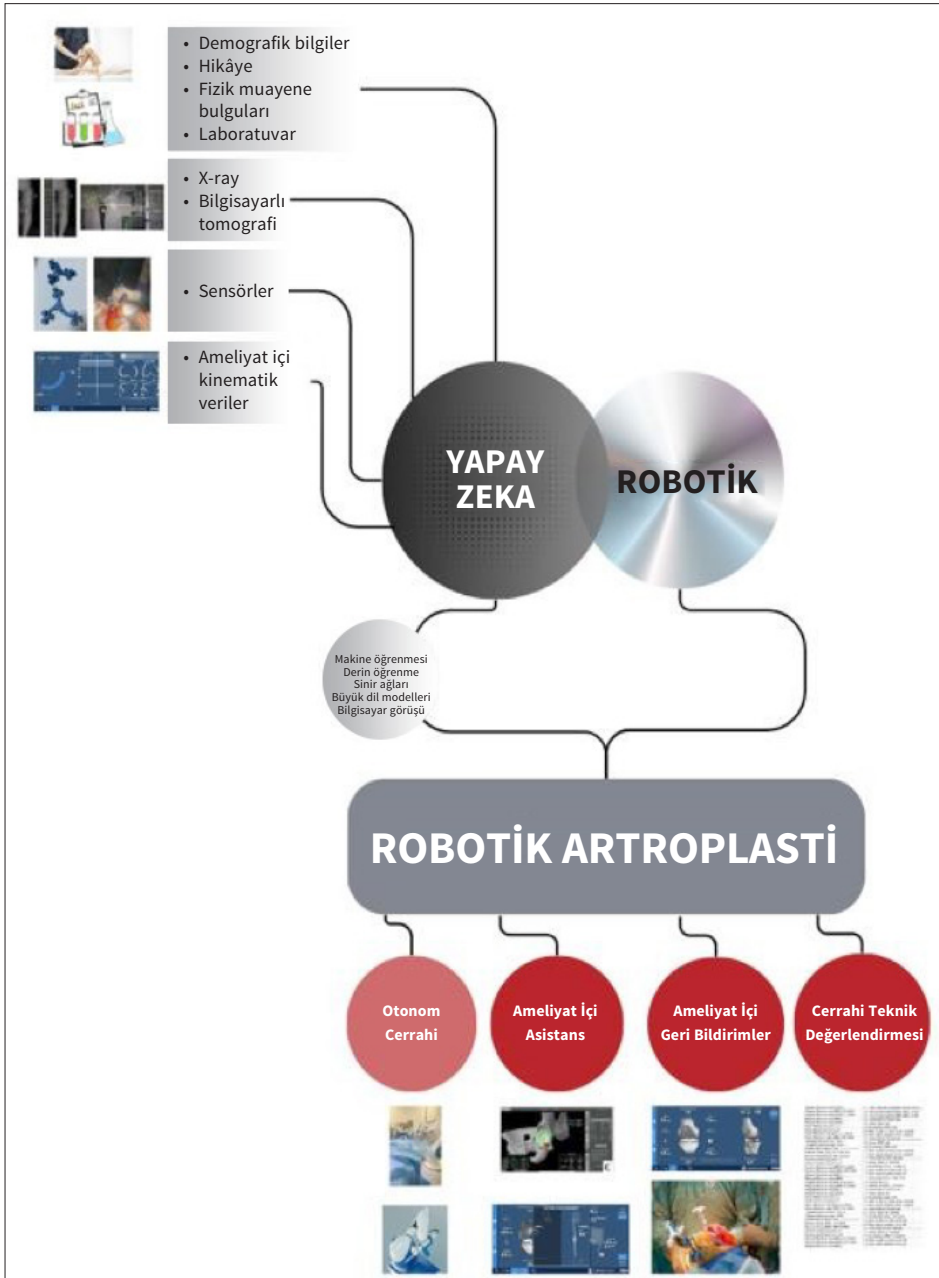
Yapay zekânın robotik sistemlere entegre edilmesiyle birlikte cerrahi teknikler daha gelişmiş ve yeni yeteneklerin kazanılmasıyla başarı daha da artmıştır. Örneğin yeni uygulamalar ile ameliyat sahasından gerçek zamanlı aldığımız görüntüler cerrahi görüşümüzü arttıracak şekilde optimize edilebilmekte ve gelecekte buna benzer yazılımlar ile cerrahi hassasiyetimiz arttırılacaktır.^[14-16] Günlük pratiğimize girmiş bir çok ortopedik robot bünyesindeki bilgisayar programlama yazılımları farklı YZ özellikleri barındırmaktadır (Tablo 3).



Şekil 3. Son 30 yılda birçok farklı cerrahi robotik sistem geliştirilmiştir. Günümüzde YZ'nin dönüştürücü etkileri ile yazılım olarak birçok yeni eklentiler ile robotun yetenekleri artmaktadır. Yakın gelecekte YZ destekli birçok farklı özelliğe robotik platformlarda şahit olacağız.

Tablo 1. Ameliyat sırasında karşılaşılabilecek plana uymayan durumlar ve çözüm yolları

Robotik Sistem	Otonomi Seviyesi	Navigasyon ve Planlama	Ameliyat Sırasında Geri Bildirim	Özelleştirme ve Entegrasyon	Avantajlar	Dezavantajlar
MAKO Smart Robotics™ Stryker	Yarı otonom	Bilgisayarlı tomografi tabanlı ameliyat öncesi planlama yapılır.	Gerçek zamanlı haptik geri bildirim sağlar.	Stryker protezleri ile uyumludur.	✓ Yüksek hassasiyetli kemik kesisi ✓ Haptik geri bildirim sayesinde aşırı rezeksiyonu önler. ✓ Klinik çalışmalarda başarılı sonuçları mevcuttur.	X Bilgisayarlı tomografi taraması gerektirir. X Yalnızca Stryker protezleriyle uyumludur.
ROSA® Diz Sistemi Zimmer Biomet	Pasif	Görüntülü ve görüntüsüz navigasyon desteği sunar.	Yumuşak doku dengesi için ameliyat içerisinde veri analizi yapar.	Zimmer Biomet protezleri ile uyumludur.	✓ Bilgisayarlı tomografi taraması gerektirmez, hastaya ek radyasyon yükü getirmez. ✓ Yapay zekâ destekli ameliyat öncesi planlama imkânı vardır.	
CORI Cerrahi Sistemi Smith & Nephew	Yarı otonom	Bilgisayarlı tomografi taraması gerektirmez.	Gerçek zamanlı kemik kesi rehberliği sağlar.	Farklı protez markaları ile uyumluluğu mevcuttur.	✓ Hafif ve taşınabilir sistem, ameliyathanede az yer kaplar.	X Robotik kol desteği bulunmaz.
Velys™ Robot Destekli Çözüm DePuy Synthes (JCJ)	Yarı otonom	Bilgisayarlı tomografi taraması gerektirmez.	Yumuşak doku dengesi için ameliyat içerisinde veri analizi yapar.	DePuy Synthes protezleriyle uyumludur.	✓ Kompakt ve taşınabilir yapı sayesinde ameliyathanede az alan kaplar.	X Görece yeni bir sistem olduğundan uzun vadeli klinik veriler sınırlıdır.
Cuvis-Joint Curexo	Otonom	Bilgisayarlı tomografi tabanlı ameliyat öncesi planlama yapılır.	Otonom kemik kesilerini yapar.	Farklı protez markaları ile uyumluluğu mevcuttur.	✓ Tamamen robotik bir sistem olarak yüksek hassasiyetli kemik kesimi sunar.	X Diğer sistemlere kıyasla daha yüksek maliyetlidir.
TSolution One® THINK Surgical	Otonom	Bilgisayarlı tomografi tabanlı ameliyat öncesi planlama yapılır.	Otonom kemik kesilerini yapar.	Farklı protez markaları ile uyumluluğu mevcuttur.	✓ Otonom kemik hazırlığı ile yüksek hassasiyet sağlar.	X Ameliyathanede geniş alan gerektirir.



Şekil 4. Ameliyat öncesi dönemde hastadan aldığımız demografik, muayene, laboratuvar bilgileri, protez şablonlanması için istediğimiz radyografi ve bilgisayarlı tomografi kesitleri, ameliyat sırasında yerleştirilen sensörler yardımıyla elde ettiğimiz anlık hareket bilgileri.

Tablo 2. Yapay zekâ destekli ortopedik robotik sistemlerin bazı avantajları

1. Görüntü tanıma, analiz, segmentasyon ve navigasyon
2. Dokunsal geri bildirim (haptik özellik)
3. Cerrahi alan görüntülerinin ve eklem hareket açıklıklarının gerçek zamanlı analizi
4. Kemik kesi rehberlerinin hareketlerinin optimizasyonu ve kontrol edilebilmesi
5. Kusursuz doğrulukta ameliyatın yapılabilmesi
6. Daha güvenli ve emin cerrahi uygulama
7. Cerrahin iş gücünün ve yorgunluğunun azalması ve verimliliğinin artması

Tablo 3. Artroplastide kullanılan bazı robotik sistemlerin kullandıkları YZ çözümleri^[1,3,5,6,8,12,13]

Robotik Sistem	Üretici	Yapay Zekâ Destekli Yazılım	Anahtar Özellikler
MAKO SmartRobotics™	Stryker	MAKO <i>Insightful Intelligence™</i>	Yapay zekâ destekli ameliyat öncesi planlama, intraoperatif rehberlik, dokunsal geri bildirim
ROSA® Diz Sistemi	Zimmer Biomet	ZBEdge AI™ + <i>mymobility™</i>	Yapay zekâ tabanlı hareket takibi, hastaya özel ameliyat öncesi planlama
CORI Cerrahi Sistemi	Smith & Nephew	RI.INSIGHTS™	Yapay zekâ destekli planlama, ameliyat sonrası izleme için veri analitiği
Cuvis Joint	Curexo	Yapay Zekâ Tabanlı Planlama Yazılımı	Otomatik 3D cerrahi öncesi simülasyon
Velys™ Robot Destekli Çözüm	DePuy Synthes (JCJ)	VELYS Dijital Cerrahi Platformu	Yapay zekâ destekli implant yerleştirme hassasiyeti

Yapay zekâ yazılımlarındaki gelişmeler doğrultusunda güncellemeler yapılarak robotik sistemlerin hassasiyetlerinin arttığını pratiğimizde görmekteyiz. Günümüzde ve yakın gelecekte robotik sistemlerin yazılımlarındaki farklı gelişmelere tanık olacağız.^[14-16] Ülkemizde de kullanıma girmiş olan bazı ortopedik robotik cerrahi sistemlerin kullandığı YZ özellikleri aşağıda özetlenmiştir;

Stryker MAKO SmartRobotics: Kantitatif geri bildirim dayalı olarak ameliyat sırasında değişikliklere izin veren hem diz ve hem de kalça protezleri için yaygın olarak kullanılan, ameliyat öncesi 3D BT planlamasını ameliyat sırasındaki dokunsal (*haptik*) rehberlikle birleştiren YZ destekli semi-otonom bir robotik sistemdir. Ameliyat öncesi planlamaya yardımcı olmak için YZ tabanlı veri analizini kullanır ve gerçek zamanlı geri bildirim sağlar. AccuStop™ teknolojisi, cerrahın planlanan alanın dışına çıkmasını önlemek için sanal bir sınır (*virtual baundary*) oluşturur. Bu sayede klasik cerrahiden daha doğru ve hatasız kemik kesileri ve protez dizilimi elde edilebilmektedir. MAKO, hassasiyeti arttıran ve niceliksel geri bildirim dayalı olarak ameliyat sırasında ayarlamalara izin veren YZ destekli bir robot örneğidir (Şekil 5).^[17]

Zimmer Biomet ROSA: Total diz ve total kalça artroplastisi yapabilen görüntüsüz ya da görüntü tabanlı seçenekleri bulunan ortopedik cerrahi robotik sistemidir.^[3] Bu platformda YZ, ameliyat öncesi planlamadan itibaren ameliyat sırasında rehberliğe kadar tüm ameliyat basamaklarında kullanılmaktadır. Yazılım ile X-ışını kullanarak veya eklem yüzeyini sensörlerle haritalayarak hastanın kemik yapısına özgü 3B kemik modeli oluşturabilir. Bilgisayarlı tomografi çekilmesine gerek olmaması avantaj olarak sunulmaktadır. Herhangi bir kemik kesisi yapılmadan önce optimum (ideal) implant konumlandırmasını ve dengeli bağ gerginliklerini tahmin etmek için YZ cerraha rehberlik eder. Ameliyat sırasında ROSA farklı ölçümleri (dizilim, aralık dengeleme vb.) analiz eder ve cerraha anında kararları bilgilendirmek için veri odaklı öngörüler sağlar.^[18]

Yapay Zekâ ve Robotik Otonomi

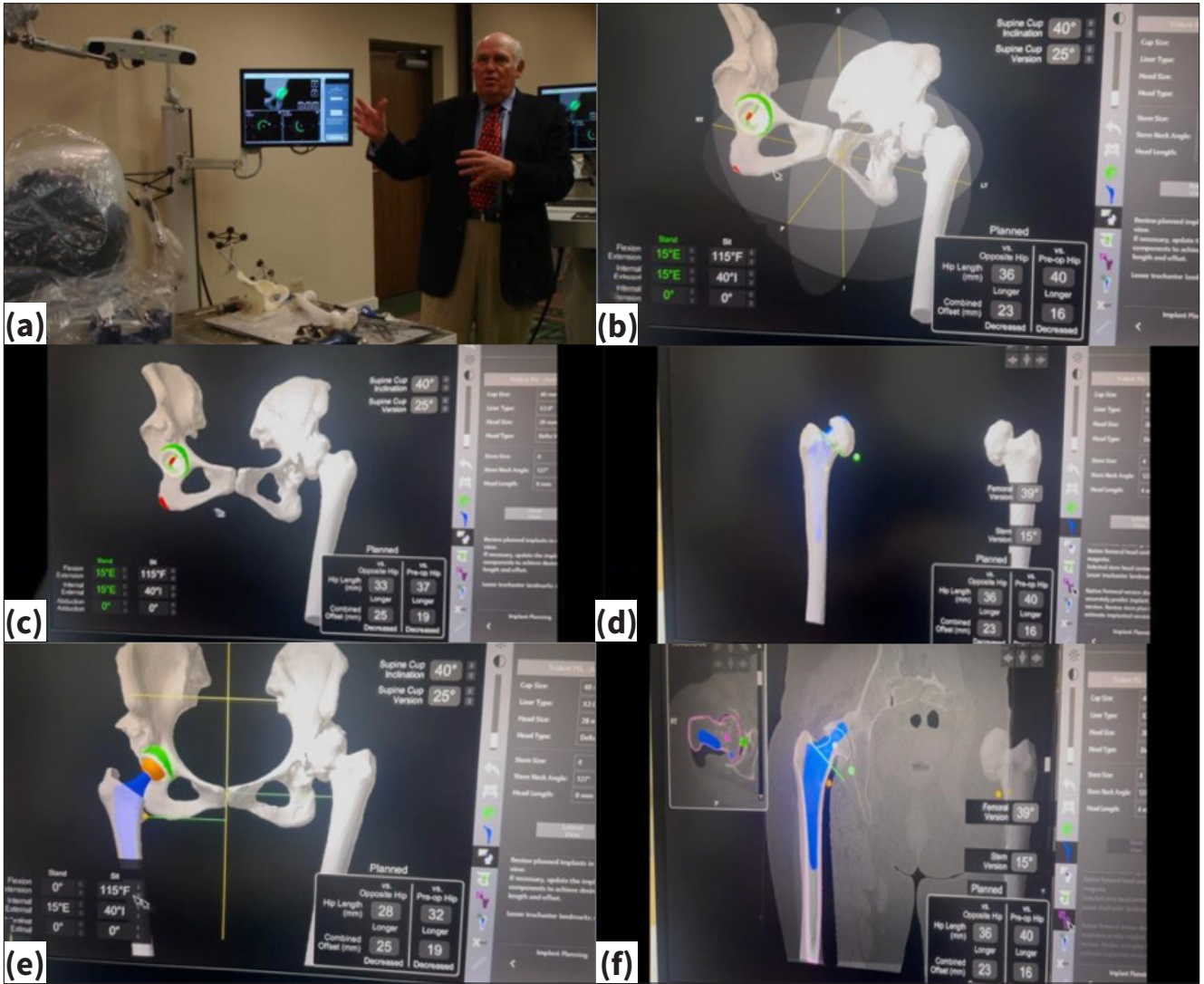
Yapay zekâ için çok önemli olan, büyük veriyi oluşturmaktır. Bu veriler ile eğitilen farklı YZ algoritmaları ile robotik otonomi ve ameliyat içi anlık geri bildirimler, cerrahi başarıyı arttırmaktadır. Gelecekte artan şekilde YZ, belirli cerrahi görevlerin otomasyonunu sağlayarak cerrahın fiziksel ve bilişsel işgücünün bir kısmını üstlenecektir (Şekil 6).^[19,20]

Arttırılmış Gerçeklik Yardımlı Üç Boyutlu Cerrahi (AR3DSx)

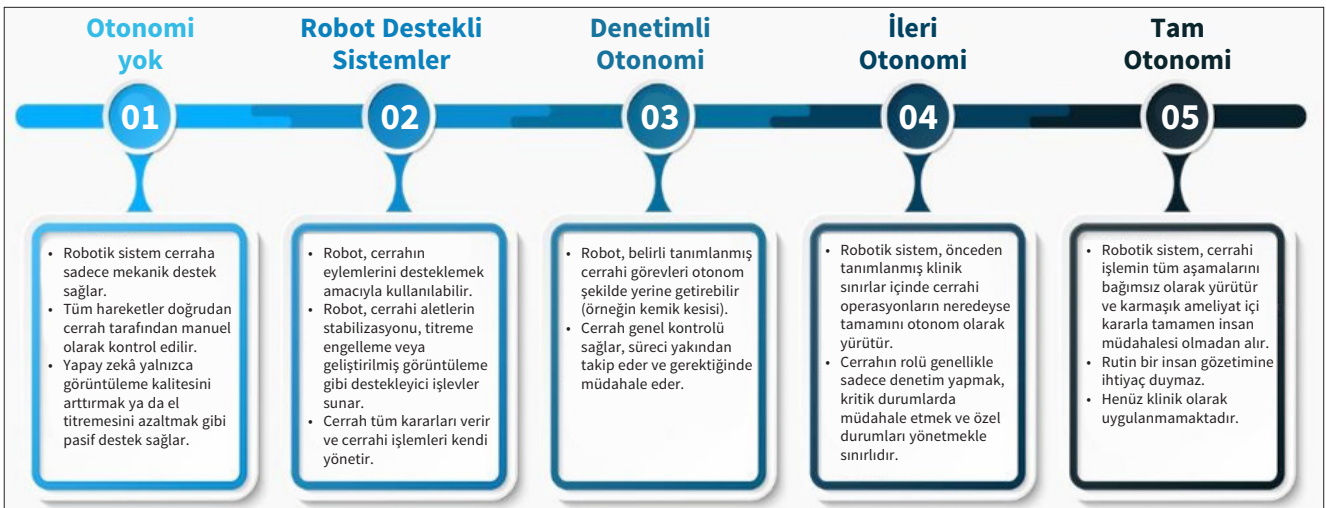
Gelecekte daha sık olarak yeni gelişmeleri görebileceğimiz diğer bir alan ise üç boyutlu bilişsel (*cognitive*) cerrahi yapabilme yeteneklerinin robotik platformlara ek olarak kullanılmasıdır. Arttırılmış gerçeklik yardımcı üç boyutlu cerrahi ile ameliyat içinde cerrahi görüş yeteneği artacak ve protezi uygun konumlandırma becerisi daha gelişecektir. Ameliyat öncesi hazırlanan 3D görüntüler cerrahi alanın üzerine oturtulur (*superimpose*). Bu sayede kalça protezinde asetabular komponentin yerleştirilmesi ve asetabular vidaların yönü önemli anatomik yapılar görülerek güvenli bir şekilde belirlenebilir (Şekil 7).^[4,21,22]

SONUÇ

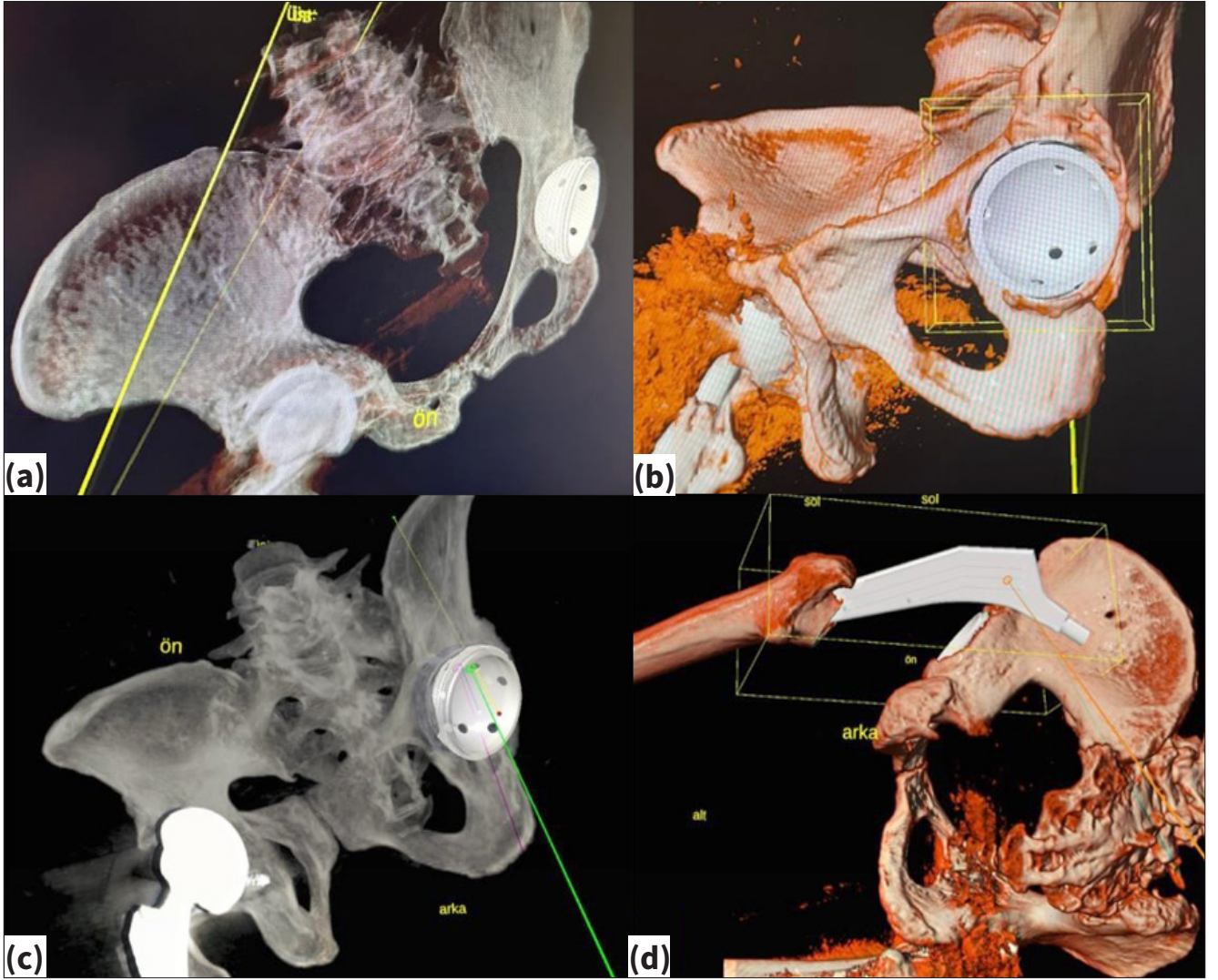
Yakın gelecekte kullanıcı dostu, hassas, hatasız ve kişiye özel ayrıntıların ameliyat sırasında titizlikle uygulanabileceği robotik artroplastisi ameliyatları primer ve revizyon vakalarında rutin hâle gelebilecektir. Kompleks yazılımların donanımları akıllı cihazlar hâline getirdiği günümüzde YZ'yi insan beynini gibi kullanabilen tam olarak otonom ortopedik robotik cerrahi sistemler, uzmanlar tarafından robot yardımcı olarak yapılan ameliyatlar ile yarışacak hâle gelerek komplikasyonların daha az ve hasta memnuniyetinin daha iyi olduğu sonuçların elde edilebileceği bir gelecek bizi beklemektedir. Etik sorunlar, sosyal ve mesleki etkiler, otoritelerin getirdiği düzenlemeler ve maliyet ilk olarak karşılaştığımız öncelikli sorunlar olarak öngörülebilir. William Gibson'un söylediği gibi aslında gelecek çoktan buradadır. Sadece şu an eşit olarak dağıtılmamış durumdadır.



Şekil 5.a-f. 2011 yılında ABD’de Dr. Dorr robotik kalça artroplastisi ile uygulamalı eğitim verirken (a) (Stryker Mako SmartRobotics) kullanılan robotik platformlardan farklı olarak günümüzdeki sistemlerde donanımdan (*hardware*) ziyade yazılım kısmında (b-f) (*software*) gelişmelerin olduğu dikkati çekmektedir. Özellikle YZ araçlarının kullanımı ile yazılımdaki yeni gelişmeleri önümüzdeki dönemlerde görülecektir.



Şekil 6. Yapay zeka destekli robotik cerrahi sistemlerin otonomi dereceleri.



Şekil 7.a-d. Total kalça artroplastisinde artırılmış gerçeklik yardımı platformlar (Arsurgeon/OrthoAR) ile üç boyutlu olarak ameliyat öncesi elde edilen görüntülerde yapılan şablon simülasyonları robotik platformlara entegre edilerek gerçek zamanlı olarak protez bileşenlerinin güvenli ve hassas bir şekilde yerleştirilmesine olanak sağlayabilecektir. Asetabular bileşen yerleşiminin ve boyutunun artırılmış gerçeklik ile planlanması (a-c). Femoral bileşen yerleşiminin ve boyutunun artırılmış gerçeklik ile planlanması (d).

KAYNAKLAR

1. Yıldız C, Esenkaya İ. Ortopedi ve travmatolojide yapay zekâ: Gelecekte bizi neler bekliyor? TOTBİD Dergisi 2024;23:1-7. [Crossref](#)
2. Yıldız C, Özsezen AM. Konvolüsyonel sinir ağlarının total kalça artroplastisinde kullanımı. TOTBİD Dergisi 2022; 21:95-101. [Crossref](#)
3. Yıldız C, Çelebi L. Görüntüsüz robotik kol yardımlı total diz artroplastisi. TOTBİD Dergisi 2022;21:68-81. [Crossref](#)
4. Piazzolla P, Volpi G, Piana A, Checucci E, Amparore D, Piramide F, et al. Artificial intelligence guidance for 3D augmented reality robotic surgery: When the machine falls the human assistance is still alive. Urology Video Journal 2025;25:100307. [Crossref](#)
5. Inabathula A, Semerdzhiev DI, Srinivasan A, Amirouche F, Puri L, Piponov H. Robots on the stage: A snapshot of the american robotic total knee arthroplasty market. JB JS Open Access 2024;9(3):e24.00063. [Crossref](#)
6. Jacofsky DJ, Allen M. Robotics in arthroplasty: A comprehensive review. J Arthroplasty 2016;31(10):2353-63. [Crossref](#)
7. Emara AK, Zhou G, Klika AK, Koroukian SM, Schiltz NK, Higuera-Rueda CA, et al. Is there increased value in robotic arm-assisted total hip arthroplasty?: A nationwide outcomes, trends, and projections analysis of 4,699,894 cases. Bone Joint J 2021;103-B(9):1488-96. [Crossref](#)
8. Emara AK, Zhou G, Klika AK, Koroukian SM, Schiltz NK, Krebs VE, et al. Robotic-arm-assisted knee arthroplasty associated with favorable in-hospital metrics and exponentially rising adoption compared with manual knee arthroplasty. J Am Acad Orthop Surg 2021;29(24):e1328-e1342. [Crossref](#)

9. Knudsen JE, Ghaffar U, Ma R, Hung AJ. Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery. *J Robot Surg* 2024;18(1):102. [Crossref](#)
10. Lisacek-Kiosoglous AB, Powling AS, Fontalis A, Gabr A, Mazomenos E, Haddad FS. Artificial intelligence in orthopaedic surgery. *Bone Joint Res* 2023;12(7):447-54. [Crossref](#)
11. Iftikhar M, Saqib M, Zareen M, Mumtaz H. Artificial intelligence: Revolutionizing robotic surgery: Review. *Ann Med Surg (Lond)* 2024;86(9):5401-9. [Crossref](#)
12. Lang JE, Mannava S, Floyd AJ, Goddard MS, Smith BP, Mofidi A, et al. Robotic systems in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(10):1296-9. [Crossref](#)
13. Parsley BS. Robotics in orthopedics: A brave new world. *J Arthroplasty* 2018;33(8):2355-2357. [Crossref](#)
14. Ali S, Jonmohamadi Y, Fontanarosa D, Crawford R, Pandey AK. One step surgical scene restoration for robot assisted minimally invasive surgery. *Sci Rep* 2023;13(1):3127. [Crossref](#)
15. Rivero-Moreno Y, Rodriguez M, Losada-Muñoz P, Redden S, Lopez-Lezama S, Vidal-Gallardo A, et al. Autonomous robotic surgery: Has the future arrived? *Cureus* 2024;16(1):e52243. [Crossref](#)
16. Wang F, Sun X, Li J. Surgical smoke removal via residual swin transformer network. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2023;18(8):1417-27. [Crossref](#)
17. Stryker. Erişim adresi: www.stryker.com (Erişim tarihi: 12 Mayıs 2025).
18. Zimmerbiomet. Erişim adresi: www.zimmerbiomet.com (Erişim tarihi: 12 Mayıs 2025).
19. Michael Filimowicz (Çev. Arzu Leman Orcan). Yapay Zekâ ve Yaratıcı Çalışmanın Geleceği: Algoritmalar ve Toplum. The Kitap 2024.
20. Yıldız C. Sağlıkta yapay zekâ ve robotik teknolojiler. III. Uluslararası Sağlıkta Yapay Zekâ Kongresi 11-13 Mayıs 2022.
21. De Backer P, Van Praet C, Simoens J, Peraire Loes M, Creemers H, Mestdagh K, et al. Improving augmented reality through deep learning: Real-time instrument delineation in robotic renal surgery. *Eur Urol* 2023;84:86-91. [Crossref](#)
22. Yıldız C. Ortopedi ve travmatolojide sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve yapay zekâ. 4. Uluslararası Sağlıkta Yapay Zekâ Kongresi 17 Kasım 2024.