

## EJONS

International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

(Uluslararası Fen, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

<https://ejons.org/index.php/ejons>

e-ISSN: 2602 - 4136

Derleme Makalesi

Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12515838>

## Endüstriyel Kaynak Robotları ile İlgili Araştırma ve Temel Teknolojik Beklentiler

Nülifer GÜNDOĞAN<sup>1</sup><sup>1</sup> Adıyaman Üniversitesi, Besni Ali Erdemoğlu Meslek Yüksekokulu, Elekt. ve Otomasyon Bölümü, 02300, Adıyaman, Besni

### Makale Tarihi

Geliş: 27.05.2024

Kabul: 23.06.2024

### Anahtar Kelimeler

Kaynak sensörü;  
Kaynak robotu;  
Ark kaynağı;  
Dikiş izleme teknolojisi;  
Gelişme eğilimi.

**Öz:** Endüstriyel kaynak uygulamalarında robot kullanımı oldukça yaygındır. Ancak modern teknolojide robotik kaynak uygulamaları halen geliştirilmekte olan bir alandır. Son yıllarda robotlu kaynak teknolojisinin gelişmesine yönelik çalışmalarda; kaynak dikiş takip sistemi, makine kullanıcı arayüzü veri tabanı, çevrimdışı programlama yöntemi, yörünge takip ve oluşturma, akıllı kontrol sistemleri gibi alanlarda önemli gelişmeler elde edilmiştir. Buna karşın kaynak robotlarının kullanılması ve programlanması ile ilgili kaynak operatörlerinin eğitim alma gerekliliği, karmaşık kaynak işlemlerinin uygulanmasında yetersiz makine arayüzlerinin kullanımı sorun teşkil etmektedir. Makine arayüzlerinin akıllı kontrol teknolojisi ve yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte özellikle akıllı kaynak robotundaki yol planlama teknolojilerinin (sinir ağı algoritması, karınca kolonisi gibi) kaynak ile ilgili sorunların çözümünde gelecekteki araştırmalara yön vereceği düşünülmektedir. Ayrıca yapılan kaynağın dikiş kalitesi, nüfuziyeti, gözenek yapısı, derinliği ve kaynak yapılacak parçanın kesiti gibi etkenlerde kaynak robotlarının uygulamalarındaki görüntü işleme metotları kullanılarak robotun arayüz yazılımına dahil edilen konulardır. Bu makalede tüm bu veriler göz önünde tutularak, kaynak uygulamalarındaki sorunlar belirtilmekte olup, kaynak uygulamalarına yönelik gelecekteki Ar-Ge çalışmalarına ve üretici firmalara faydalı olmak adına referans amaçlı, robotik kaynak teknolojisinin mevcut durumu ve gereksinimleri ile ilgili analizler yapılmıştır.

**Atıf Künyesi:** Gündoğan, N. (2024). Endüstriyel Kaynak Robotları ile İlgili Araştırma ve Temel Teknolojik Beklentiler EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences 8(2), 270-279. **How To Cite:** Gündoğan, N. (2024). Research and Basic Technological Expectations on Industrial Welding Robots, EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences 8(2), 270-279.

### Research and Basic Technological Expectations on Industrial Welding Robots

### Article Info

Received: 27.05.2024

Accepted: 23.06.2024

**Abstract:** The use of robots is quite common in industrial welding applications. However, in modern technology, robotic welding applications are still under development. In recent years, studies on the development of

**Keywords**

Welding sensor,  
Welding robot,  
Arc welding,  
Seam tracking technology,  
Development trend.

robotic welding technology; significant developments have been achieved in areas such as weld seam tracking system, machine user interface database, offline programming method, trajectory tracking and creation, and intelligent control systems. On the other hand, the need for training of welding operators in the use and programming of welding robots and the use of inadequate machine interfaces in the implementation of complex welding processes pose a problem. It is thought that with the development of intelligent control technology and artificial intelligence systems of machine interfaces, path planning technologies (such as neural network algorithm, ant colony), especially in intelligent welding robots, will direct future research in solving welding-related problems. In addition, factors such as seam quality, penetration, pore structure, depth and cross-section of the part to be welded are also included in the interface software of the robot using image processing methods in the applications of welding robots. Taking all these data into consideration, in this article, the problems in welding applications are stated, and analyzes regarding the current status and requirements of robotic welding technology have been made for reference purposes in order to be useful for future R&D studies on welding applications and manufacturing companies.

**1. Giriş**

Endüstriyel üretimde esneklik, zamandan tasarruf, kalite, seri üretim ve güvenlik gibi alanlarda artan ihtiyaçlar ile teknolojik gelişmeler kaçınılmaz olmuştur. Bu teknolojik gelişmeler aynı zamanda üretici firmalar arasında rekabete sebep olmuştur. Ayrıca üretimde insan sağlığını koruma ve buna bağlı olarak oluşabilecek bir felakete veya zarara makinaların uzaktan güvenli bir şekilde eş zamanlı olarak müdahale ile kontrol edilebilmesi gibi ihtiyaçları da beraberinde getirmiştir.

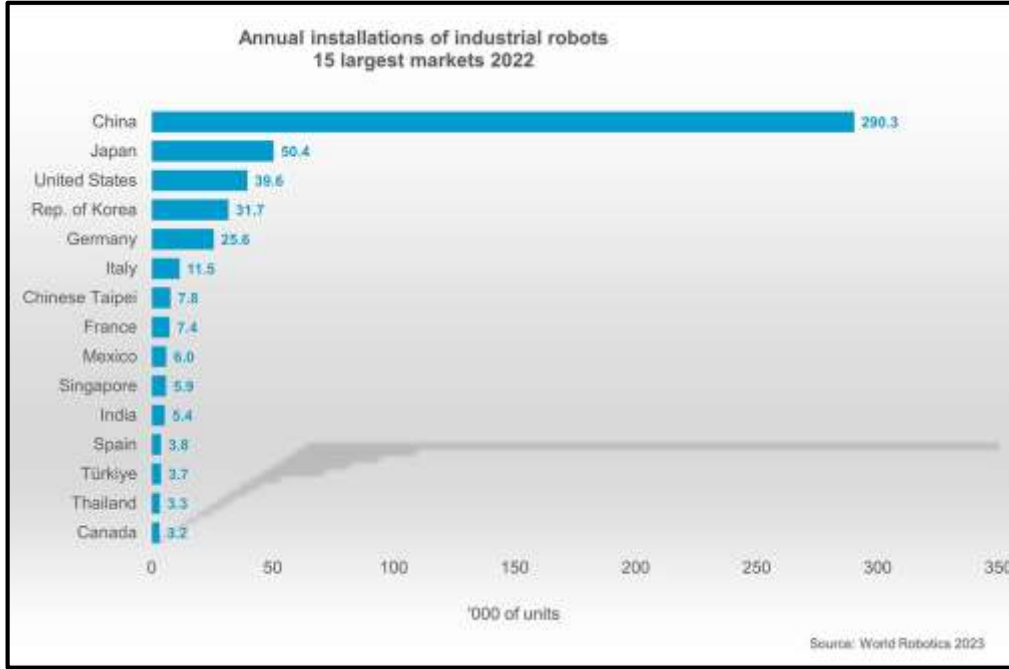
Teknoloji alanında hızlı bir şekilde meydana gelen gelişmeler beraberinde imalat ve üretimde birçok yenilikçi sistemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunlardan en önemlisi bilgisayar kontrollü sistemlerdir. Bilgisayar kontrollü sistemlerin sağladığı avantajlardan dolayı otomasyon, üretimde daha geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde birçok geliştirilmiş çok amaçlı robotlar üretilmiştir. Bu robotların hareket ve yörünge planlaması, bilgisayar kontrollü veya çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile yapılmaktadır. Bunlara ek olarak çevre ortamına tepki verebilen, yörünge izleme kabiliyetine sahip bilgisayar kontrollü ve geri beslemeli adaptif robotlar da çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Robotik sistemlerin sanayide kullanılması ile zamandan ve işgücünden önemli ölçüde kazanç elde edilmekle birlikte, kalite ve verimliliğin de arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca imalatta, operatörden kaynaklanabilecek hataları önemli ölçüde azaltılarak, operatörün zorlandığı işlerde kolaylık sağlamaktadır. Robot uygulamaları ile artan rekabet, robotik uygulamalarının gelişmesine sebep olmuş ve ürünlerin zamanında teslimatı, kalite, uygun fiyat gibi birçok avantajlar sağlayarak imalatta bir standartlaşma kazandırmıştır. Bilgisayar kontrollü vinçler, robot kollar ve diğer otomasyon sistemleri bunlara örnek verilebilir (Büyüktümtürk vd., 2009).

Robotların kullanım alanlarından biri de kaynak işlemleridir. Robotların kaynak uygulamalarında sağladığı birçok avantajlar vardır. Örneğin bir kaynak robotu bir dakikada 75 cm. kaynak yapabilme kabiliyetine sahip iken bir kaynakçı aynı kaynağı bir dakikada 25 cm. yapabilmektedir. Kaynak uygulamalarında çalışma alanları ile teçhizatların daha aktif kullanılmasıyla belirlenen bir işlem yönergesi takibinde üretkenlik artırılabilir (Anonim, 2012).

Robotların istenilen koordinatlarda ve toleranslarda konumlama kabiliyeti insanlara kıyasla daha yüksektir. Bir kaynak robotu ile gerçekleştirilen kaynak dikişinde genellikle taşlamaya ihtiyaç duyulmaz ve kaynak robotu ile yapılan birleştirmelerde daha düzgün toleranslar elde edilir. Bazı durumlarda ise kaynak hızlarının artırılması kalitenin de artmasına sebebiyet verebilir. İnce parçalardaki hızlı kaynak uygulaması ısı dağılımını engelleyerek kaynakta oluşabilecek olan çarpılmaların önüne geçilebilmesi örnek olarak verilebilir (Anonim, 2012).

Robotik kaynak uygulamaları özellikle otomotiv sanayisi başta olmak üzere kaynak uygulamalarında oldukça önem arz etmektedir. Son yıllarda Türkiye, uluslararası pazarda rekabet edebilmek için robotik ve otomasyon sistemlerinin kullanımında oldukça hızlı büyüyen sanayiye sahip ülkelerden birisi haline gelmiştir. IFR (Uluslararası Robotik Federasyonu) tarafından 26 Eylül 2023'te hazırlanan rapora göre; 2022 yılında dünya çapındaki fabrikalara 553.052 endüstriyel robotun kurulduğu ve bu rakamın 2022'de yıllık bazda %5'lik bir büyüme gösterdiği ve Türkiye'nin de yıllık endüstriyel robot kurulumunun en büyük 15 pazarından biri olduğudur (Şekil 1).



Şekil 1: IFR (International Federation of Robotics) tarafından 26 Eylül 2023'te hazırlanan rapor

Ayrıca, Türkiye Robotik ve Otomasyon Zirvesi 2023 Sonuç Raporuna göre Türkiye'de robotik üzerine uygulamalar yapan As Metal Makine, Karmetal, Mcfly Robot Teknolojileri, MetalG, Moritech Robot gibi birçok firma bulunmaktadır. Bu firmalar genellikle kesme, taşıma, boyama, paletleme, mobil robot teknolojisi, makine yazılımları gibi alanlarda robot üretimi yapmaktadırlar. MetalG Genel Müdür Yardımcısı tarafından 2010 yılında hazırlanan bir TÜBİTAK projesiyle Türkiye'nin ilk yerli 6 eksenli endüstriyel robot üretimine başladığını ancak redüktör ve kontrolcülerin imalatında yaşanan bir takım sorunlarla birlikte üretimin %75'inin Türkiye de yapılmasına karşın nihai ürünü Amerikan malı pazarlama stratejisi ile piyasaya sürüleceği belirtilmiştir (Roboder, 2023). Bu firma robotik kaynak makineleri içinde yazılım hazırlamaktadır. Bu raporlardan da görüldüğü üzere dünyada olduğu kadar Türkiye'de de robotların satın alımı ve imalatı oldukça artmıştır. Aynı zamanda bu robotlar seri imal edilip ölçeklendirilememektedir. Bunun nedeni yerli robot üreticileri daha başlangıç aşamasında olup halen bir takım prosedür ve devlet fonlarının desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu robotların imalatı, mekatronik bilimine ait ileri teknoloji gerektiren bir uygulama alanıdır. Kaynak robotu, kontrol, güvenilirlik, karmaşık iş parçalarının kaynağı, operatörler ve tamirciler için güçlü beceri kazanımları sağlamaktadır. İmalatta kullanılan robota ait aksesuarların pahalılığı ve temini gibi zorlukları bulunmaktadır (Szghtech, 2022).



Şekil 2: Karmetal, Endüstriyel Robotlar kategorisi ORDINA 30R19 robotu.

Bu çalışma ile kaynak robotlarının mekanik yapısı ve yazılımı ile ilgili bilgiler verilerek daha önceki çalışmaların bir kısmı irdelenmiştir. Bununla birlikte kaynak robotu kullanımının üretimdeki verimliliğin artırılmasına yönelik araştırmaları yapılmış olup, robotik kaynak teknolojisi için gerekli olan yenilikler ve gereksinimler araştırılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

## 2. Kaynak Robotları Araştırma

### 2.1. Kaynak Robotlarının Gelişim Durumu

Kaynak, birbirine benzer ya da ergime sıcaklıkları benzer iki ya da ikiden çok parçayı sıcaklık, basınç veya iki özelliğinde benzer değerlerde olduğu elektrot, tel gibi malzemeler kullanılarak uygulanan bir kaynaştırma yöntemidir.

Sanayide imalat ve montaj gibi işlemlerde birçok kaynak uygulamaları yapılmaktadır. Bundan dolayı yapılan kaynağın kalitesi, verimliliği, esnekliği, kaynağın yapıma kolaylığı ve süresi gibi faktörler üreticiler arasında rekabeti arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak, robotlu kaynak uygulamalarına olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır.

Kaynak robotlarının çeşitli türleri bulunmaktadır. Teknik olarak, 3 nesil olarak sınıflandırılabilir: 1. nesil "öğretme ve çoğaltma" kaynak robotları, 2. nesil olarak temelde algılama teknolojisine dayalı çevrimdışı programlanabilen kaynak robotları ve 3. nesil olarak da akıllı kaynak robotu şeklinde sıralanabilir. Uygulama yöntemleri yönünden kaynak robotlarını; punta kaynak robotu ark kaynağı robotu, sürtünme karıştırma kaynak robotu, lazer kaynak robotu ve plazma kaynak robotu olarak sınıflandırılabilir. Yapısal form olarak ise kartezyen koordinat, silindirik koordinat, küresel koordinat ve tam eklem gibi 4 tip olarak sınıflandırılmaktadır. Kontrollü hareket moduna bağlı olarak sınıflandırma ise nokta kontrol ve sürekli yörünge takipli kontrol gibi 2 tipe ayrılabilir. Tahrik yöntemleri açısından ise pnömatik tahrikli, hidrolik tahrikli ve elektrikli tahrikli olmak üzere 3 tipe ayrılabilir. Kaynak robotları sanayideki uygulamalarında düşük maliyet, yüksek verimlilik, yüksek esneklik ve yüksek güvenilirlik gibi getirileri ile dünyada oldukça çok ilgi görmüştür (Zizhuo vd., 2023).

Kaynak robotunun ilk uygulama alanı nokta kaynağı iken günümüzde geliştirilerek gaz altı ark kaynakları, tozaltı ark kaynağı, sürtünme karıştırma kaynağı, lazer kaynağı, plazma kaynağı ve gaz kaynağı gibi kaynak alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulama kapsamında ise iç mekândan dış mekâna, su altına, uzaya ve kirli çevreye kadar genişlemiştir. Kaynak robotları, kaynak işçilerini yavaş yavaş yüksek yorgunluktan ve yüksek riskli çalışma ortamlarından kurtarmaktadır. Son

yıllarda akıllı kaynak robotları endüstride de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Akıllı kaynak robotları, lazer sensörleri ve kontrol cihazları gibi algılama sistemlerine sahiptir. Genel olarak, kaynak robotlarının uygulaması giderek yaygınlaşmakta ve aynı zamanda yeni teknolojilerin ortaya çıkışı da kaynak robotlarının daha büyük uygulama alanına sahip olmasını sağlamıştır (Zizhuo vd., 2023).

## 2.2. Kaynak Robotunun Kaynak Uygulamalarındaki Durumu ve Avantajları

Robotik kaynak, endüstriyel robot manipülatörlerinin içinde en başarılı proseslerinden biridir. Kaynak işlemleri imalatta çok fazla kullanılmasına rağmen, endüstriyel robotik kaynak uygulamaları çok az gelişmişti. Bir başka deyişle genel anlamda tamamen çözüme kavuşmuş olmayan teknolojik bir süreçtir. Kaynak işlemi karmaşık, parametrelendirilmesi ve etkili bir şekilde izlenip kontrol edilmesi oldukça zordur. Bununla beraber, kaynak işlemi belirli koşullar altında deneyimle elde edilen ampirik modellere dayandırılarak uygulanmaktadır. Kaynağın, kaynaklı yüzeylere etkisi henüz tam olarak bilinmemektedir. Kaynak uygulaması, birçok durumda küçük alanlarda dolgularda aşırı yüksek sıcaklıklara neden olabilir. Bu sıcaklık ile malzemede son derece yüksek ve bölgesel olarak termal genleşme ve büzülme döngüleri oluşturarak malzemelerde, istenmeyen plastik deformasyon ve mekanik bozulmalara neden olur. Bu nedenle oluşabilecek etkileri minimuma indirmek için bu değişikliklere sebep olan parametrelerin bilinip işlemin ona göre ayarlanması gerekmektedir. Robotların devreye girmesiyle kaynak operatöründe bulunabilecek eksikliklerin, çoğu robotik uygulamaların sunduğu avantajlarla ortadan kaldırıldığı gözlemlenmektedir. Bu maliyet açısından da oldukça ucuz olmaktadır (Pires vd.,2006).

## 2.3. Kaynak Robotunda Kullanılan Ark Kaynağı Güç Kaynağı Analizi

Kaynak robotu uygulamasında, ark kaynağına ait kaynak makinesinin özellikleri de kaynağın kalitesini, verimliliğini ve kullanım alanını belirleyen önemli faktörlerdendir. Son yıllarda, ark kaynağının güç kaynağı teknolojisi oldukça gelişmektedir. Bu gazaltı ark kaynak makinalarında kullanılan son teknoloji güç kaynakları, tek çipli bir mikro bilgisayar yardımıyla transistörlü ark kaynağı invertörünü, robot ark kaynağı invertörü şeklinde kullanarak kontrolünü sağlamakta ve bu sayede üstün dinamik özelliklere sahip kaynak yapılmasını, iyi bir kaynak kalitesini ve verimliliği sağlamaktadır. Bunun yanı sıra güç kaynağının kontrolünde bulanık kontrol yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntem kaynak uygulamalarına oldukça verimli bir şekilde adapte edilebilen bir yöntem olup, kaynak yüzeyinin pürüzlülüğünün belirlenmesi, deformasyon durumları, kaynak genişliği, kaynak derinliği, kaynak formu ve kaynak nüfuzu gibi birçok bilginin elde edilmesinde faydalı olan bir yöntemdir (Zhang vd.,2017).

## 2.4. Yörünge/Yol Planlama Algoritması

Yörünge planlama teknolojisini, sadece robotun en kısa yörüngesini planlamak değil aynı zamanda belirli işlemler senaryosuna ve ihtiyaçlarına göre en uygun yörüngeyi oluşturmak olarak da tanımlanmaktadır. Evlerde kullandığımız robot süpürgenin yol planlamasının çevreyi oluşturmak, aramak ve düzeltmek gibi genel adımları örnek olarak verilebilir. Yörünge planlama, kaynak robotunun yapacağı kaynağı en kısa ve verimli bir şekilde yapmasını, çalışma zamanının azaltılmasını ve dolayısıyla maliyetten kazanım elde edilmesini sağlamaktadır. Kaynak robotuna ait yol planlamasında 3 ana husus vardır:

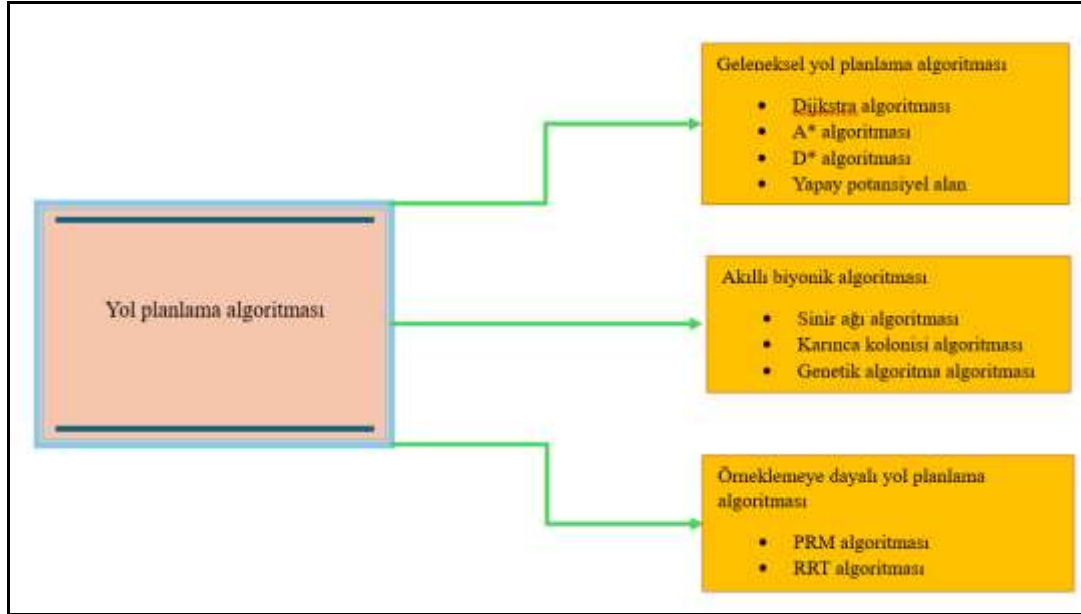
(1) Kaynağın pratik uygulanabilirliği, kaynak doğruluğu ve serbestlik parametre sayısı göz önünde bulundurulmalıdır;

(2) En uygun hale getirilmiş kaynak yörünge planlaması;

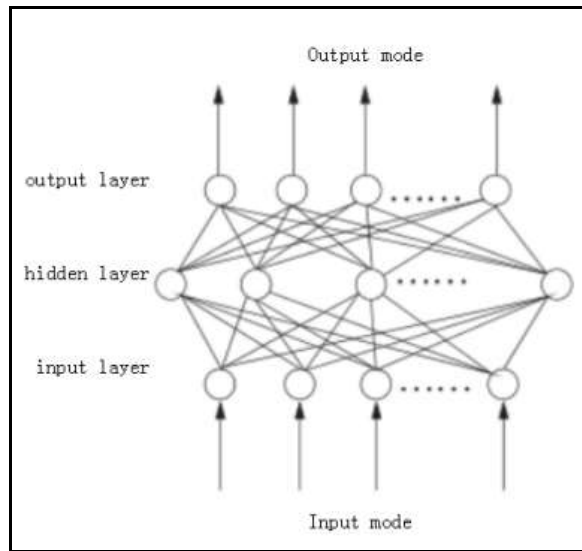
(3) Yörünge planlaması çarpışmayı engellemelidir.

Yörünge planlama algoritmasının sınıflandırılması Şekil 3.'de gösterilmektedir. Yaygın olarak kullanılan yol uyarlama algoritmaları temelde, ızgara yöntemi ve yapay potansiyel alan yöntemleridir (Sung vd., 2021; Yu vd., 2020; Zhang vd.,2017; Zizhuo vd., 2023; Huan vd. 2022; Pires vd.,2006; Wang vd., 2022). Ancak bu geleneksel algoritmalar düşük verimliliğe sahiptir. Buna karşın kaynak robotu yol planlamasında karınca kolonisi, genetik ve sinir ağı algoritmaları gibi daha akıllı optimizasyon algoritmaları daha çok kullanılmaktadır (Zhang vd. ,2017; Aydemir, 2021; Zizhuo, L. v.d, 2023). Bunlardan en çok kullanılanı, sinir ağı algoritmasıdır. Sinir ağı yörünge planlama algoritması akıllı yol

planlama algoritmasının bir türüdür. Sinir ağı algoritması yöntem olarak kolay adapte edilebilen ve sağlamlığa sahip olmakla beraber ve zamanla değişen, fazla unsurlu, eğrisel bir yola sahip olan vb. gibi karmaşık kaynak prosesindeki kontrol etme sorunlarıyla başa çıkabilmektedir. Sinir ağı yöntemi, uyarlanabilme özelliğine, kendi kendine öğrenme kabiliyetine, iyi bir hata toleransına ve büyük kapasitede bilgi depolama gibi özelliklere sahiptir. Bunlara ek olarak akıl yürütme ve karar verme kabiliyeti ile uygulanacak eylemler arasında ilişkisel bağlantı kurarak çözüm elde edilebilmektedir. Dolayısıyla robot kaynağının yörünge planlamasında oldukça verimli bir yöntemdir diyebiliriz (Zhang vd., 2017).



Şekil 3: Yol planlama algoritmasının sınıflandırılması (Zizhuo , L. v.d, 2023)



Şekil 4: Sinir ağı yol planlama algoritması (Zhang vd.,2017).

Daha kısa süreli işlem çevrimine sahip, yüksek kaliteli kaynak gereksinimlerinden dolayı robotik kaynak uygulamaları zorunluluğu oluşmuştur. Kullanılan ilk robotlu kaynak sistemi iki aşamaya sahiptir. İlk aşamada dikiş geometrisini öğrenme için analiz yapılırken, ikinci aşamada ise gerçek zamanlı takip ve kaynak uygulaması yapılmıştır. İkinci kuşak kaynak sistemlerinde ise dikiş gerçek zamanlı olarak takip etme, öğrenme ve izleme işlemlerini eş zamanlı olarak gerçekleştirir. Üçüncü kuşak kaynak sistemleri ikinci kuşak sistemlere ek olarak, farklı zamanda yapılandırılmış ortamlarda çalışırken dikiş geometrilerinin farklılıklarını da öğrenme kabiliyetine sahiptir. Bu üçüncü kuşak kaynak sistemleri

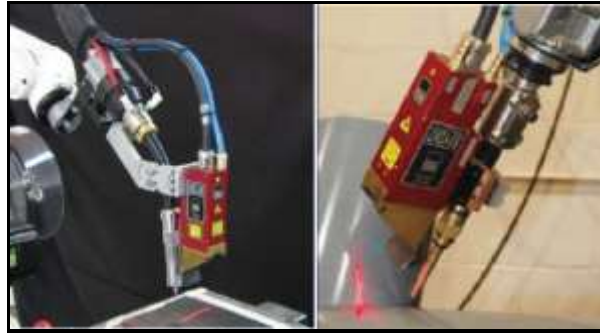
uygulamalarda oldukça fazla esneklik sağlamasına rağmen, sistemin bazı zorlu uygulamalara yönelik uyarlanmasında yüksek vasıflı programcılara ihtiyaç duyulmaktadır (Pires vd.,2006).

### 2.5. Kaynak Dikişi İzleme Teknolojisi ve Sensörler

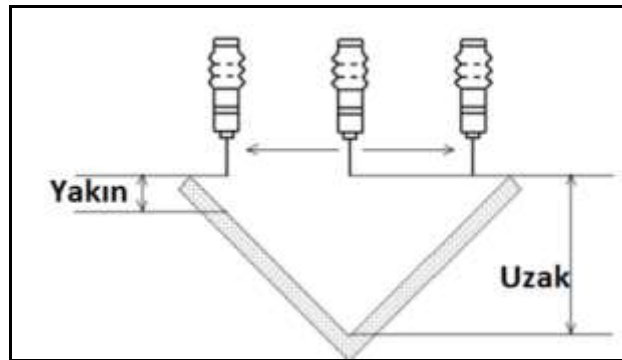
Gelişen teknoloji, kaynak robotu uygulamalarında kısa çevrim sürelerinde işlem, gelişmiş kontrol ve algılama gibi özellikleri de beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda yeni geliştirilen üstün özelliklere sahip birçok malzemenin kaynaklı birleştirilme işlemleri de mevcuttur. Dolayısıyla yapılması istenen kaynağın en kaliteli ve verimli bir şekilde uygulanması için malzemeye uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve uygulanması gerekir. Robotun uygulayacağı kaynağa uygun olarak, kaynak parametrelerini belirleme yöntemlerinden birisi kaynak dikişi izleme teknolojisidir.

Kaynak uygulamalarında genellikle yoğun bir ark radyasyon yayılımı, yüksek sıcaklık, termal deformasyon, duman ve sıçrama gibi sebeplerden kaynaklı olarak birtakım olumsuzluklar meydana gelebilir. Kaynak uygulamalarındaki bu zor problemi çözebilmek adına kaynak izleme teknolojisi ile kaynak şartlarındaki değişiklikler belirlenerek, kaynak için gerekli olan parametreler ve gerçek zamanlı olarak kaynak yörüngesinin takibi yapılabilir ve böylece kaliteli bir kaynak gerçekleştirilebilir. Tüm bu işlemler geliştirilen sensör teknolojisi ile yapılmaktadır.

Parametrik sensörleri ile ark voltajı, akımı, tel beslemesi hızı gibi bazı kaynak parametreleri ölçülmektedir. Geometrik sensörler ile kaynak bölgesine ait geometrik yapı, kesit alanı, döşeme, köşe, bindirme gibi kaynak bağlantısı, V-boşluk gibi bilgiler elde edilir. Fiyat olarak daha uygun olan temaslı sensörler ile kaynak öncesi yörünge ile ilgili bilgiler elde edilebilir. Ark sensörü ile kaynak uygulanacak malzemelerin bağlantı merkez noktası belirlenerek, devamında kaynak yapılacak alana ait konum bilgileri elde edilir. Ark sensörünün sisteme kaynak bölgesi öğretme özelliğinden faydalanılarak, parçanın herhangi bir sapma karşısında yanlış bölgede kaynak yapması ve parçanın hurdaya ayrılmasının önüne geçilmiş olur. Lazer sensörü, kamera gibi cihazlarla kaynak torcunun kaynak malzemesine mesafesi ölçülebilirken aynı zamanda kamera ile kaynak şekli, kaynak konumu vb. birçok bilgiler elde edilir. Buradaki görme sistemi neredeyse insan gözüne eşdeğer bir şekilde kullanılabilir durumda konumlandırılır.



Şekil 5. Lazer sensör (Türker, 2015).



Şekil 6: Ark sensöründe dokunma işlemi ile kaynak birleşim yeri tespiti (Türker, 2015).



Kaynak dikişi izleme teknolojisi, kaynağın kalitesini arttırır, yanlış kaynak yapmanın önüne geçilerek hurdaya ayrılan malzeme sarfiyatı azaltır, iş verimini, zor ve kötü çalışma ortamlarındaki uygulamalarda operatörün yerini alarak kullanıcıyı korumaktadır. Kaynak izleme teknolojisi özellikle otomotiv sanayisinde, gemilerin zorlu ve büyük kaynak uygulamalarında, havacılıkta oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir (Zizhuo vd., 2023; Pires vd.,2006; Türker, 2015).

## 2.6. Çoklu Sensör Bilgi Birleştirme Teknolojisi

Sensörün sağladığı güvenilirlik, akıllı robotların geliştirilmesinin temeli ve ön koşulu haline gelmiştir. Bundan dolayı özellikle kaynak uygulamalarında çoklu sensöre sahip akıllı bilgi füzyonu teknolojisi ortaya çıkmıştır. Çok sensörlü akıllı bilgi füzyon teknolojisinden elde edilen talimatlara göre, her türlü bilginin kapsamlı bir şekilde toplanması ve dolayısıyla, toplanan bilgilerin analizi ile robotun işlemlerinin en iyi şekilde yapılması sağlanır. Yakın çevredeki karşılık gelen tepkilere izin verir. Çoklu sensör bilgilerinin yalnızca çevredeki bilgilerin tanımlanmasında önemli bir rol oynamakla kalmayıp aynı zamanda robotun hareket ve eyleminin rasyonelliğinde de önemli bir rol oynadığı görülebilir. Bu çok sensörlü akıllı bilgi füzyon teknolojisinin gelişmesi, robotlar için de büyük bir atılımdır (Zizhuo vd., 2023).

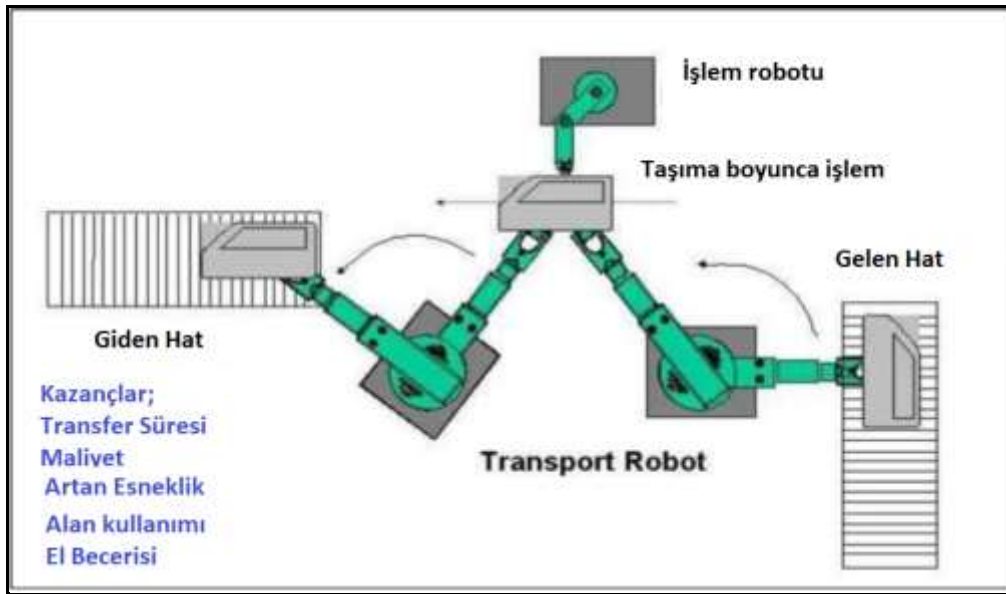
## 2.7. Çok Robotlu İşbirlikçi Kontrol Teknolojisi

İlerleyen teknoloji ile endüstride ihtiyaçların artmasıyla işbirlikçi robotlar üretilmeye başlanmıştır. İşbirlikçi (kollaboratif) robotlar, robot-insan etkileşimini esas alan bir sistem olup insan ile aktif ve pasif olacak şekilde çalışarak otomasyona katkı sağlamaktadırlar. İşbirlikçi robotlar, imalatta çeşitlilik ve çalışma zamanından tasarruf sağlaması ile teknolojide önemli bir yer edinmektedir. İşbirlikçi robotların sağladıkları avantajlar:

- Maksimum esneklik
- Optimize edilmiş işlem çalışma döngüsü
- Çarpışma önleme ile artan kullanılabilirlik.

İşbirlikçi bir robot grubu, aşağıdaki sinyalleri alıp veren birtakım standart kontrol cihazları ile kontrol edilir:

- Hareket verileri
- Senkronizasyon sinyalleri (saat senkronizasyonu)
- Güvenlik sinyalleri (Dilibal ve Şahin, 2018)



Şekil 7: Üretim hattında çalışan işbirlikçi robotlar (Gulumkar ve Kekan, 2020)

Kaynak uygulamalarında ise ilk olarak işbirlikçi ark kaynağı robotları kullanılmıştır. Robotik kaynak uygulamaları daha çok program temelli olduğundan programa ait ayarlamaların yapılması ve



güvenliğin sağlanması zaman almaktadır. Bundan dolayı işbirlikçi robotların üretimini yapan UNIVERSAL ROBOTS, KUKA, ABB vb. gibi firmalar robotik kaynak uygulamalarında insan güvenliğine öncelik verilecek şekilde tam otomatik, iş birliğine dayalı ve tamamen manuel şekilde kaynak uygulamalarını esas almaktadır. İşbirlikçi robotların kaynak uygulamaları üzerinde bilim adamları program temelli birçok çalışmalar yapmıştır. Çift halinde çalışan robotların çarpışma testleri ve koordinasyonu kontrolleri, pratik işlemlerde kaza yapma oranını azaltır ve koordinasyonlu çalışma sırasında hareket yörüngesini oluşturarak gerekli koordinasyonun yapılmasını sağlar. Dokunmatik ekran aracılığıyla master-slave koordinasyonlu hareket kontrol sistemi ile aktif ve yardımcı robot olarak ikiye ayrılır. Aktif robot, işlem ortamındaki gereken konum, hız ve ivmeyi belirlerken Slave (yardımcı) robot, master-slave ilişkisi ile karşılık gelmesi gereken değerleri belirler. İşbirlikçi robotik kaynağında ve tüm işbirlikçi robotlarda, Güvenlik Düzenlemeleri ve Güvenlik Standartları ISO tarafından özel olarak belirlenir. Bununla birlikte işbirlikçi robotların uygulanmasında, robotların çarpışmasını önleme, görev planlaması gibi bazı zorluklarla karşılaşmaktadır (Gulumkar ve Kekan, 2020; Dilibal ve Şahin, 2018).

### 3. Sonuç

Kaynak teknolojisi, endüstrideki gelişim sürecinde oldukça önemli bir yer kaplar, yaşamın her alanında kaynak teknolojisine ihtiyaç duyulmaktadır ve gelecekte de bu popüleritesine devam edecek olan bir yöntemdir. Artan işçilik maliyetleri, operatörün çalışmasına uygun olmayan zorlu çalışma ortamları, esnek üretim ihtiyaçları, zamandan kazanç vb. gibi birçok sebeplerden dolayı endüstriyel robotlar işletmeler için ihtiyaç olmaktan çok zorunluluk haline gelmiştir. Sanayide kullanılan endüstriyel robotlar içinde kaynak robotları ise oldukça önemli bir yere sahiptir; robot uygulamasının içeriği ve derinliğinin aynı zamanda üretim hattındaki otomasyonun gelişmişliğinin bir derecesi olduğu düşünülmektedir. Bu araştırmada dünyadaki kaynak robotlarının temel teknolojik gelişimi ve sistem gereksinimleri analiz edilmekte ve makine kaynağı ile manuel kaynağın avantajları karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, ülkemizdeki kaynak robotu üretimi teknolojisine katkıda bulunacak, referans niteliğinde bir araştırma olması hedeflenmiştir. Yapılan araştırmalarda kaynak işlemleri uygulama sonuçlarına göre, kaynak robotunun manuel kaynağa oranla oldukça fazla avantajlara sahip olduğu; günümüzde kaynak izleme teknolojisi ve çoklu robot iş birliği teknolojisi gibi alanlarda ileri düzey teknolojik bir gelişime sahip olduğu ve yaygın olarak da bu teknolojinin uygulandığı görülmektedir. Gelecekte kaynak robotlarının uygulamalarının ve pazarının büyük ölçüde artacağı öngörülmektedir. Günümüzdeki kaynak robotlarının sanayide oldukça fazla uygulama alanı bulmasına karşın, sınırlı çalışma alanı, yüksek derecede serbestlik gerektiren zorlu iş tanımlaması, işbirlikçi robotların çarpışma ve parazit oluşturması gibi birtakım eksiklikleri bulunmaktadır. Bundan dolayı bu sorunların çözülmesi için kaynak robotları teknolojisinin geliştirilmesine devam edilmektedir. Sonuç olarak, günümüz teknolojik gelişmelerinde, yapay zekâ kullanımı ile kaynak robotlarının yörünge kontrolü, kaynak dikışı takibi, kaynak kalitesi gibi kaynağa ait gereksinimleri algılama ve öğrenme yöntemleri, modelleme ve planlama, grup davranış kontrolü gibi eylemlerin daha gelişmiş düzeyde kaynak uygulamalarına fayda ve katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın, ülkemizdeki robotlu kaynak uygulamaları araştırmacılarına da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### Kaynaklar

- Anonim, (2012). Endüstriyel Robotlar. Endüstri Mühendisleri İletişim Portalı. [Erişim Tarihi: 05.04.2024] <https://endustrimuhendisligi.blogspot.com/2012/12/endustriyel-robotlar.html>
- Aydemir, H. (2021). Otonom Mobil Robotlarda Kümeleme Yöntemi ile Tam Kapsama Planlama. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Büyüktümtürk , F., Yılmaz ,Ö., Ertaşkın ,H., Akıncı , T.Ç., (2009). Bilgisayar Kontrollü Vinç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük. Erişim Tarihi: 03.01.2020] [https://www.researchgate.net/publication/237623341\\_BILGISAYAR\\_KONTROLLU\\_VINC\\_SISTEMI\\_TASARIMI\\_VE\\_UYGULAMASI\\_WINCH\\_SYSTEM\\_CONTROLLED\\_BY\\_COMPUTERS\\_DESIGN\\_AND\\_APPLICATION](https://www.researchgate.net/publication/237623341_BILGISAYAR_KONTROLLU_VINC_SISTEMI_TASARIMI_VE_UYGULAMASI_WINCH_SYSTEM_CONTROLLED_BY_COMPUTERS_DESIGN_AND_APPLICATION)

- Dilibal, S., & Şahin, H. (2018). İşbirlikçi Endüstriyel Robotlar ve Dijital Endüstri. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(1), 86-96.
- Ferreira, N. F. (2023). The Use of Collaborative Robots for Tasks with Arc Welding. doi: 10.20944/preprints202308.1517.v1
- Gulumkar, A. P., & Kekan, G. (2020). Review on Collaborative Robot in Welding Application. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)* Impact Factor: 7.512 | | Volume 9, Issue 6.
- Huan, Z., Ma, W., Wang, J., & Wu, F. (2022). Path Planning and Optimization for Micro-Robot in a Vessel-Mimic Environment. *Frontiers in Neurorobotics*, 16, 923348.
- Kah, P., Shrestha, M., Hiltunen, E., & Martikainen, J. (2015). Robotic Arc Welding Sensors and Programming in Industrial Applications. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 10, 1-16.
- Pires, J. N., Loureiro, A., & Böllmsjö, G. (2006). *Welding Robots: Technology, System Issues and Application*, Springer Science & Business Media.
- Roboder (2023). Türkiye Robotik ve Otomasyon Zirvesi 2023 Sonuç Raporu 04.11.2023 – İSTANBUL <https://roboder.org.tr/wp-content/uploads/2024/02/Turkiye-Robotik-ve-Otomasyon-Zirvesi-2023-Sonuc-Raporu-1.pdf>
- Schumacher, S., Hall, R., Waldman-Brown, A., & Sanneman, L. (2022). Technology Adoption of Collaborative Robots for Welding in Small and Medium-sized Enterprises: A Case Study Analysis. In *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2022* (pp. 462-471). Hannover: publish-Ing..
- Sung, I., Choi, B., & Nielsen, P. (2021). On The Training of a Neural Network for Online Path Planning With Offline Path Planning Algorithms. *International Journal of Information Management*, 57, 102142.
- Szghitech (2022). Yerli Kaynak Robotları ile İthal Kaynak Robotları Arasındaki Farklar Nelerdir? <https://tr.szghitech.com/news/what-are-the-differences-between-domestic-weld-64222156.html>
- Türker, K. S. (2015). Endüstride Kaynak Robotları (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi). Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wang, X., Xie, Z., Zhou, X., Gao, J., Li, F., & Gu, X. (2022). Adaptive Path Planning For The Gantry Welding Robot System. *Journal of Manufacturing Processes*, 81, 386-395.
- Yu, J., Su, Y., & Liao, Y. (2020). The Path Planning Of Mobile Robot By Neural Networks and Hierarchical Reinforcement Learning. *Frontiers in Neurorobotics*, 14, 63.
- Zhang, W., Dong, Z., & Liu, Z. (2017). Present Situation and Development Trend of Welding Robot. In *2017 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017)* (pp. 933-936). Atlantis Press.
- Zizhuo, L., Junsong, W., Jiaying, W., Anqi, X. (2023). Research and Expectation on Industrial Welding Robots. *Applied and Computational Engineering* 11(1):263-267, DOI: 10.54254/2755-2721/11/2023026371). Hannover: publish-Ing..