



Araştırma Makalesi

**Journal of Innovative Engineering
and Natural Science**

(Yenilikçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

journal homepage: <https://jiens.org>

Tarımsal mekanizasyonda kullanılan 30MnB5 bor çeliğinin kaynak sonrası soğutma rejiminin mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi

Bekir Çevik*

Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Ziraat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 81620, Türkiye.*MAKELE BİLGİSİ***Makale Geçmişi:*

Geliş 3 Ekim 2023

Düzeltilme 24 Kasım 2023

Kabul 28 Aralık 2023

Çevrimiçi mevcut

Anahtar Kelimeler:

30MnB5 çeliği

MAG kaynağı

Soğutma rejimi

Mikroyapı

Mekanik özellikler

ÖZET

30MnB5 çeliği tarımsal mekanizasyon endüstrisinde sertlik, mukavemet, darbe ve aşınma direnci istenen uygulamalarda kullanılabilen bir çelik türüdür. Günümüz endüstrisinde ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması tarımsal mekanizasyonda daha uzun ömürlü tarım makinelerinin üretilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle tarımsal mekanizasyonda kullanılan söz konusu çeliğin kullanımı ve kaynaklı birleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, 30MnB5 çelikleri MAG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş ve üç farklı (havada, suda ve yağda) soğutma rejiminde soğutulmuştur. Soğutma rejimine bağlı olarak kaynaklı 30MnB5 çeliğinin mekanik ve makro/mikroyapı özelliklerindeki değişimi tespit etmek için tahribatsız (görsel muayene, sıvı penetrant testi), tahribatlı (darbe, eğme, sertlik testleri) ve metalografik testler yapılmıştır. Görsel muayene ve sıvı penetrant testi sonucunda kaynak dikişlerinde herhangi bir makro ve mikro hataya rastlanmamıştır. Kaynaklı numunelerde soğutma rejimine bağlı olarak mekanik ve mikroyapı özelliklerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Effect of post-welding cooling regime on mechanical and microstructure properties of 30MnB5 boron steel used in agricultural mechanisation

ARTICLE INFO*Article history:*

Received 3 Oct 2023

Received in revised form 24 Nov 2023

Accepted 28 Dec 2023

Available online

Keywords:

30MnB5 steel

MAG welding

Cooling regime

Microstructure

Mechanical properties

ABSTRACT

30MnB5 steel is a type of steel that can be used in the agricultural mechanization industry, where hardness, strength, impact resistance, and wear resistance are required. The increasing importance of economic factors in today's industry requires the production of longer-lasting agricultural machines for agricultural mechanization. For this reason, it is important to use the steel in question in agricultural mechanization and to combine it with welding. In this study, 30MnB5 steels were combined with the MAG welding method and cooled in three different (air, water, and oil) cooling regimes. Non-destructive (visual inspection, liquid penetrant test), destructive (impact, bending, and hardness tests), and metallographic tests were performed to determine the change in the mechanical and macro/microstructure properties of the welded 30MnB5 steel depending on the cooling regime. As a result of the visual inspection and liquid penetrant test, no macro or micro defects were found in the weld seams. Changes in mechanical and microstructural properties were observed in welded samples depending on the cooling regime.

I. GİRİŞ

Malzeme bilimindeki hızlı gelişmeler, tarımsal mekanizasyonda kullanılan malzemelerin çeşitlenmesine yol açmıştır. Bu durum da, tarımsal mekanizasyonda çok farklı tür malzemelerin birbiri ile uyumlu bir şekilde

*Sorumlu yazar. Tel.: +90-380-451-2294; e-mail: bekircevik@duzce.edu.tr

montajlanmasını gerektirmektedir. Tarımsal mekanizasyonda uygun teknik özelliklere sahip malzemelerin seçimi ve bu malzemelerin uygun montaj yöntemleri ile birleştirilmesi tarım makinelerinin daha uzun ömürlü olmasına neden olmaktadır [1, 2]. Ancak, farklı özelliklerde metal malzemeler kullanılarak imal edilen ve tarımsal üretimde önemli rol oynayan makine sistemlerinde veya bu sistemleri oluşturan makine elemanlarında, iyi bir tasarım planlaması yapılması ve en ideal özelliklere sahip malzemeler seçilmesine rağmen, makinenin kullanım sürecinde önceden öngörülemeyen hasarlar ortaya çıkabilmektedir [3, 4]. Çünkü ilerleme hızı, toprak cinsi, yükleme durumu gibi faktörler nedeniyle toprak işleme alet ve makineleri toprakta çalışma sırasında farklı gerilmelere (çekme, basma, eğme, darbe v.s.) maruz kalmaktadır. Özellikle çalışma sırasında toprak işleyici parçaların maruz kaldığı ani darbeler tarım makinesinde kullanılan malzemelerin hasara uğramasına neden olabilmektedir [2, 5].

30MnB5 çeliği tarımsal mekanizasyon endüstrisinde yaygın kullanılan popüler bor alaşımlı bir çelik türüdür [6]. Bor alaşımlı çelikler, çeliğe bor elementinin katılması ile elde edilen üstün özellikli çeliklerdir. Bor elementi çeliklerin sertleşebilirliğine etki etmektedir. Bu nedenle söz konusu çelikler yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımına sahiptir [7, 8]. Bu tip çeliklerin en temel özellikleri kolay işlenebilirlik ile beraber uygulanan ısı işlemler sonrasında yüksek mekanik özellikler sergilemeleridir. Östenit tane sınırlarındaki bor kalıntıları nedeniyle tane sınırlarında azalan ara yüzey enerjisi çeliklerde sertleşebilirliği arttırmakta, ferrit ve perlitin çekirdeklenmesini geciktirmektedir. Bu durum da, bor alaşımlı çeliklerde hızlı soğuma sonucunda martenzit yapının oluşmasına imkân sağlamaktadır [9, 10]. Bor hızlı soğutulduğunda ve tane içinde çökelti olarak tutulduğu zaman sertleşebilirlik üzerine en büyük etkiyi sağlamış olur [3, 11]. Sergiledikleri üstün özellikler nedeniyle 30MnB5 çeliği, pulluk uç demiri, tırmık diskleri, çizel bıçağı, kültivatör bıçağı, yem karma makinesi bıçağı, silaj bıçağı, rotovator bıçağı, tamburlu çayır biçme makinesi bıçağı gibi tarım makinelerinde ve toprak işleme alet ve makinelerinde zorlu koşullar altında çalışan yapısal parçaların üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, madencilik endüstrisindeki aşınmaya dayanıklı kapak plakaları, bıçaklar, tırtıl rayları, astar ve elek plakaları, kırma üniteleri, çeşitli tekerlekli ve tırtıl tekerlekli araçlarının imalatında geniş bir kullanım alanına sahiptir [1, 6, 12]. Bunlara ek olarak, otomotiv üreticileri daha hafif araç yapmak ve darbelere maruz kalabilecek kısımlarda sürücü ve yolcu güvenliğini arttırmak için kullandıkları yapısal parçalarda bor çeliklerini tercih etmektedirler [9, 13].

Tarımsal mekanizasyon uygulamalarında kullanılan yapısal parçalar ve makine elemanları farklı üretim yöntemleri ile üretildikten sonra farklı sökülebilir (cıvata, pim v.s.) ve sökülemeyen montaj yöntemleri (kaynak, lehim, perçin v.s.) kullanılarak bir araya getirilmektedir [3]. Tarım makineleri, kullanımları sırasında birçok farklı yükleme ve zorlanma kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu kuvvetler altında çalışan tarım makinesinin yapısal bütünlüğünü koruması ve kendisinden beklenen işlevi yerine getirebilmesi için montaj işleminin iyi bir şekilde planlanarak yapılması önem arz etmektedir [1, 4, 5]. Daha yüksek çeki kuvvetleri ile çalışma imkanlarının artması ve ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması tarımsal mekanizasyonda da daha uzun ömürlü tarım makinelerin üretilmesini gerekli kılmaktadır. Yüksek mukavemetli malzemelerin tarımsal mekanizasyonda kullanımının artması ile montaj yöntemleri konusundaki çalışmalarda önemini sürdürmektedir [2, 5]. Tarımsal mekanizasyon üretiminde en yaygın kullanılan montaj yöntemlerinden birisi de kaynaklı birleştirmedir. Tarımsal mekanizasyon uygulamalarında farklı kaynak yöntemleri bir arada kullanılabilir [3, 14, 15]. Endüstride paslanmaz çelikler ve yapı çeliklerinin birleştirme işlemlerinde en fazla kullanılanların başında gaz metal ark kaynağı (GMAK) olarak adlandırılan metal inert gaz (MIG) ve metal aktif gaz (MAG) ile gaz tungsten ark (GTAK) diye de adlandırılan tungsten inert gaz (TIG) yöntemleri gelmektedir [16-23]. Bu yöntemler makine donanımı bakımından aynı olmasına karşın kullanılan koruyucu gaz türüne göre farklı isimlerle tanımlanmaktadır. MIG kaynak yönteminde

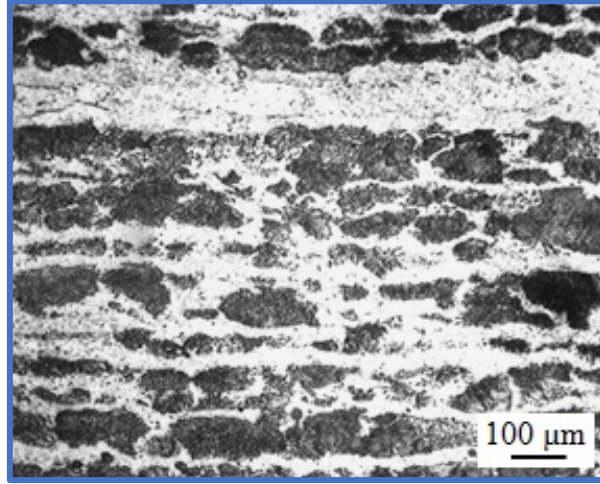
argon (Ar), helyum (He) gazları ve farklı oranlarda karışım gazlar (Ar-He, Ar-CO₂-O₂, Ar-O₂ v.s) kullanılabilir. MAG kaynağında ise aktif bir gaz olan CO₂ gazı kullanılmaktadır [24-31].

Tarımsal mekanizasyon endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması ve özellikle günümüzde ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması nedeniyle kaynaklı birleştirmede malzeme özelliklerinin maksimum ölçüde korunarak ve ekstra bir işlem (ısıl işlem v.s.) uygulamadan üretim yapılması önem arz etmektedir [18-20]. Dolayısıyla kaynaklı birleştirmelerde ilk aranan özellik birleştirmenin dayanımının ana metal ile aynı veya ona yakın olmasıdır [3, 15, 24-27]. Ancak kaynak işlemi sadece kaynak dikişinin kimyasal bileşimini değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda termal döngüye maruz kalan ısıdan etkileyen bölgede bazı metalürjik değişiklikler meydana getirir [28-32]. Bu nedenle kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinin soğuma hızı bağlantıların mekanik ve metalürjik özelliklerini etkileyebilmektedir [26, 27, 33, 34]. Kaynaklı birleştirmelerden oluşan tarımsal makine sistemlerinde dinamik ve statik yük etkileri mekanik ve metalürjik özellikleri etkilenen kaynaklı bağlantı bölgelerinde kalıcı iç gerilmelerle beraber bazı zorlamalar meydana getirebilmektedir [1-3]. Farklı gerilmelerin etkisindeki kaynaklı bölgelerde çalışma esnasında çatlama, deformasyonlar hatta hasarlar meydana gelebilmektedir. Kaynaklı birleştirme bölgesinde bu sebeplerden dolayı meydana gelebilecek sorunları telafi edebilecek mekanik özelliklerin araştırılarak ana metal ve kaynaklı bölgelerinin yük altındaki davranışlarının incelenmesi önem arz etmektedir. 30MnB5 çeliğinin ısıl işlem, aşınma özellikleri ve darbe dayanımı üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yazıcı vd. [6], yaptığı bir çalışmada, 30MnB5 çeliğini karbonitrasyon işlemi sonrası farklı asitik ortamda korozyon direncini araştırmışlardır. Karbonitrülme işleminin 30MnB5 çeliğinin farklı asitik ortamda korozyon hızını etkilediğini ifade etmişlerdir. Güler vd. [7], yaptıkları bir çalışmada ısıl işlemin 30MnB5 bor çeliğinin mikroyapısı ve mekanik davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bazı ısıl işlem parametrelerinin 30MnB5 çeliğinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde geliştirebileceğini ifade etmişlerdir. Queirós vd. [8], yaptıkları bir çalışmada 30MnB5 çeliğine uygulanan subkritik tavlama ve su verme işleminin aşınma özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Subkritik tavlama ve su verme işleminin 30MnB5 çeliğinin aşınma özelliklerini arttırdığını belirtmişlerdir. Yazıcı [10], yaptığı bir çalışmada, gaz karbonitrülme işlemlerinin 30MnB5 çeliğinin aşınma karakteristiklerine etkilerini araştırmıştır. Karbonitrasyon işlemi uygulanan 30MnB5 çeliği numunelerin toplam aşınma ağırlığı kaybının ve toplam aşınma boyutu kaybının geleneksel ısıl işleme kıyasla azaldığını rapor etmiştir. Yaakob vd. [35], yaptıkları bir çalışmada gaz metal ark kaynağı ile birleştirilen bor çeliğinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Isıl işlem görmüş numunenin mikroyapısının tamamen martenzite dönüştüğünü ve tane sınırlarında mikro boşluklar nedeniyle ısıdan etkilenen bölgede taneler arası kırılmalar olduğunu rapor etmişlerdir.

Yapılan literatür taramasında 30MnB5 çeliği ile ilgili çalışmaların genellikle ısıl işleme bağlı olarak aşınma ve mekanik özellikleri konusunda olduğu görülmüştür. Bu çeliğin kaynak işlemi sonrası soğutma rejimine bağlı kaynak bölgesinin mekanik ve metalürjik özellikleri konusunda araştırmaların yetersiz olduğu değerlendirilmiştir [1, 3, 7, 9, 10, 36-39]. Bu amaçla özellikle tarımsal mekanizasyon endüstrisinde sıkça kullanılan 30MnB5 çeliği malzemeler MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve kaynak işlemi sonrası farklı soğutma rejimleri ile soğutulmuştur. Farklı soğutma rejimlerinin kaynaklı bağlantılara etkisini belirlemek amacıyla eğme, darbe ve sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca, farklı soğutma rejimlerine bağlı olarak kaynak metali ile ısıdan etkilenen bölgede (IEB) meydana gelen mikroyapıları ve tane morfolojisi değerlendirilmiştir.

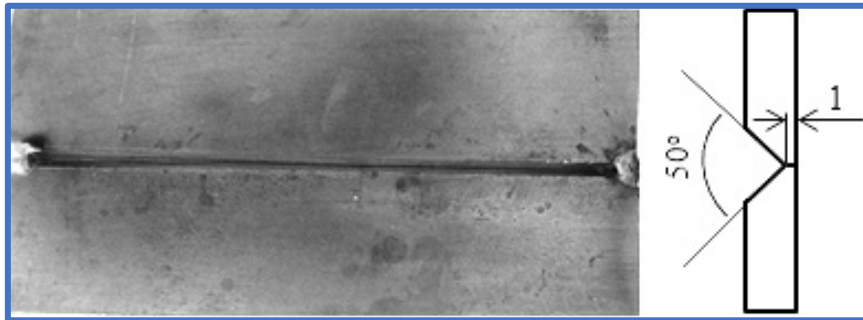
II. DENEYSEL METOT

Bu çalışmada, 30MnB5 çeliği (EN 10083-3:2006) malzemeler 200×50×5 mm ebatlarında hazırlanmıştır. 30MnB5 çeliğinin optik mikroskop ile çekilmiş mikroyapısı ferrit + perlit olup, optik mikroskop fotoğrafı Şekil 1'de verilmiştir. Açık renkli mikro tanelerin ferrit, koyu renkli mikro tanelerin ise perlit olduğu görülmektedir. Mikro tanelerin haddeleme doğrultusu yönünde uzamış oldukları görülmektedir.



Şekil 1. 30MnB5 çeliği mikroyapısı

Kaynak işlemi için kullanılacak olan kaynak teli çapı ve ark boyu göz önünde bulundurularak her bir çelik levhaya 25° ve birleştirilecek levhalar yan yana konulduğunda 50° olacak şekilde V kaynak ağı açılmıştır. Birleştirilecek levhalar uç noktalarından puntalanmıştır. Şekil 2'de 30MnB5 çeliği levhaların hazırlanış ölçüleri (şematik) ve punta ile sabitlenmiş durumları verilmiştir. Kaynağa hazır hale getirilen levhalar MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. 30MnB5 çeliği ve kaynak telinin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Kaynak ağızı makro görüntüsü

Kaynak işlemlerinde, su soğutmalı gazaltı kaynak makinesi (GKM 420-2W) kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmeler % 100 CO₂ koruyucu gaz atmosferinde 1.2 mm çapında SG2 kaynak teli (EN ISO 14341-A) kullanılarak

yapılmıştır. Tablo 2’teki kaynak parametreleri kullanılarak kaynak işlemleri yatay pozisyonda yapılmıştır. Kaynak parametre değerleri yapılan ön çalışmalar sonucu belirlenmiştir. Kaynak işlemi biten numunelere havada (HS), suda (SS) ve endüstriyel yağ (EYS) su verme işlemi uygulanmıştır. Kaynak sonrası kaynaklı numunelerinin makro görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir. Kaynak işlemleri biten numuneler, yüzey kusurlarının belirlenmesi için öncelikle TS EN ISO 17637 standardına göre gözle muayene ve TS EN ISO 23277 standardına göre sıvı penetrant testi yapılmıştır.

Tablo 1. Ana malzeme ve kaynak telinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri (wt. %)

30MnB5 çeliği							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ti	B
0.27-0.33	01.15-1.45	0.4	0.025	0.035	0.05-0.3	0.015-0.06	0.0008-0.005
SG2 kaynak teli							
C	Mn	Si					
0.08	1.5	0.85					
Ana malzeme ve kaynak telinin mekanik özellikleri							
	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama				
30MnB5 çeliği	360	560	24				
SG2 kaynak teli	440	540	30				

Tablo 2. Kaynak parametreleri

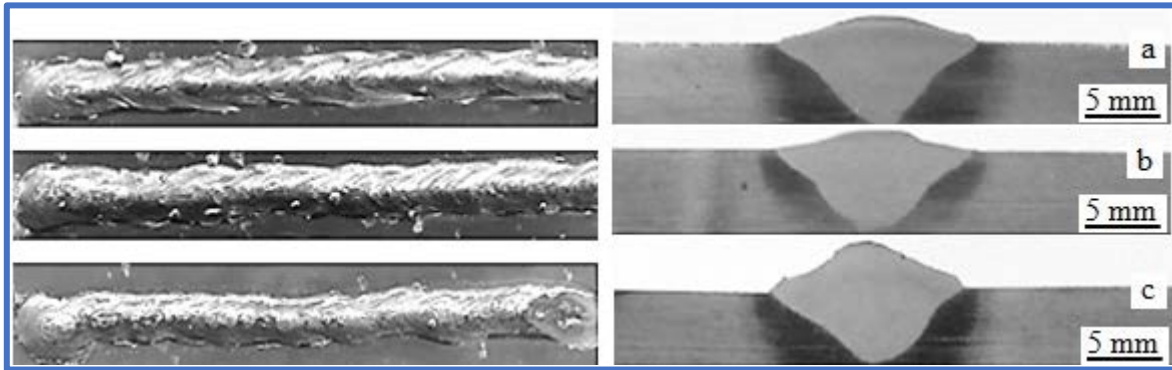
Kaynak akımı	165 A	
Kaynak voltajı	25 V	
Tel hızı	5 m/dk	
Kaynak hızı	5 mm/s	
Gaz debisi	12 l/dk	
Kaynak teli kalınlığı	1.2 mm	
Soğuma rejimi	Havada Soğutma (HS)	(20±2 °C)
	Suda Soğutma (SS)	(20±2 °C)
	Endüstriyel Yağda Soğutma (EYS)	(20±2 °C)

Kaynaklı numunelere metalografik testlerin yanı sıra, eğme, darbe ve sertlik testi gibi mekanik testler yapılmıştır. Üretilen kaynaklı levhalardan 3'er adet eğme, 3'er adet darbe, 1'er adet mikroyapı ve sertlik numunesi hazırlanmıştır. Eğme test numuneleri ise TS 282 (EN 910) standardına göre üretilmiştir. Darbe test numuneleri TS EN ISO 9016 standardına göre hazırlanmış ve 2 mm derinliğinde U çentik açılmıştır. Çentik yapısı çapı 1 mm'dir. Eğme testlerinde Instron 3369 model eğme test cihazı kullanılmıştır. Eğme testleri 60 mm destek açıklığında ve 5 mm/dk test hızında yapılmıştır. Darbe testleri için Time ticari markalı JB-W300 serisi test makinesi kullanılmıştır. Mikroyapı ve sertlik numunelerine zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler % 2'lik nital çözeltisi ile dağlanmış. Metalografik incelemeler Metkon Inverted Tip metal mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin kaynak dikiş merkezi ve geçiş bölgeleri mikroyapısal olarak incelenmiştir. Sertlik testleri kaynak yönüne dik kesitten alınan numuneler üzerinde (yatay doğrultuda) Time TH 300 marka sertlik test cihazı ile 1/16" çelik bilye ile 100 kgf yük 10 s süre ile uygulanarak yapılmıştır. Sertlik ölçümleri kaynak merkezinden başlamak üzere malzeme kesit kalınlığının merkezi boyunca her iki tarafa 2 mm aralıklarla toplam 15 noktadan alınmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Gözle Muayene

Üretilen kaynaklı numunelerde kaynak fazlalığı, yanma oluğu, distorsiyon ve makro çatlak v.s olup olmadığı TS EN ISO 17637 standardına (gözle muayene) göre incelenmiştir. Şekil 3'te gözle muayenesi yapılan 30MnB5 çeliği kaynaklı numunelerin kaynak yüzeylerinin görüntüleri ve nüfuziyetleri verilmiştir. CO₂ gazı ile yapılan kaynak işlemlerinde bir miktar sıçrantıların olduğu gözlenmiş olmasına rağmen tüm kaynak dikişleri düzgün bir görünümde oluşmuştur. Gazaltı kaynak işlemlerinde koruyucu gazın cinsi kaynak dikişinin mekanik ve metalürjik özellikleri üzerine etki eden en önemli faktörlerden birisidir. Ancak, koruyucu gazlar kaynak işlemi sırasında sıçramalar nedeniyle meydana gelen kayıplar üzerinde de etkilidir [1, 28, 30, 31]. Sıçramalar nedeniyle kaynak bölgesi mekanik yöntemlerle temizlemesi gerektiğinden zaman, enerji ve maddi kayıplara neden olmaktadır [38]. Kaynaklı dikiş yüzeylerine yapılan gözle muayene işlemi sonucunda makro enine ve boyuna çatlak, yanma oluğu, gözenek, krater çatlağı v.b makro kaynak hatası görülmemiştir. Kaynaklı parçalarda enine veya boyuna doğrultuda açılmal distorsiyon oluşmamıştır. Görsel muayene sonucunda kaynak işlemleri sonrasında uygulanan soğutma rejimlerinin 30MnB5 çeliği malzemelerin kaynak dikişlerinde herhangi bir makro hataya neden olmadığı belirlenmiştir.



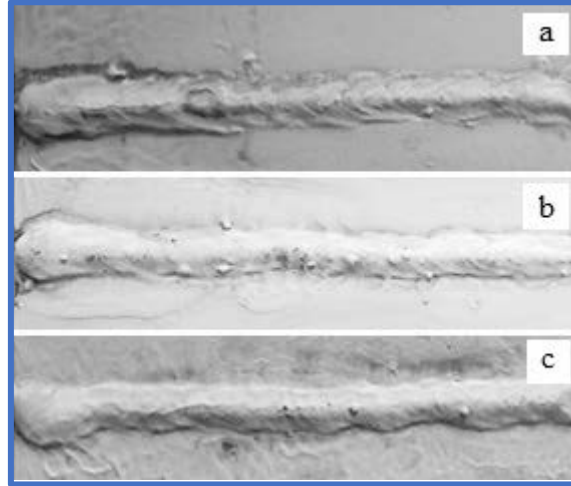
Şekil 3. Kaynaklı dikişlerinin makro görüntüleri, a) HS b) SS, c) EYS

3.2 Sıvı Penetrant Testi

Sıvı penetrant testi ile kaynak dikişlerinde görsel muayene tespit edilemeyen yüzeye açık mikro çatlak, mikro gözenek v.s. gibi kaynak hatalarının olup olmadığı TS EN ISO 23277 standardına göre incelenmiştir. Şekil 4'te sıvı penetrant testi yapılan 30MnB5 çeliği kaynaklı numunelerin kaynak yüzeylerinin görüntüleri verilmiştir. Sıvı penetrant testi uygulanan kaynaklı numunelerin detaylı incelenmesi sonucunda yüzeye açık kılcal çatlak, makro ve mikro gözenek gibi kaynak hatalarına rastlanmamıştır.

Endüstriyel uygulamalarda kaynak dikişlerinin kalite kontrolü en önemli aşamalardan birisidir. Tarım makinelerinin kullanımları sırasında özellikle montaj bölgeleri (kaynak, cıvata v.s.) birçok farklı yüklemeye ve zorlanma kuvvetlerine maruz kalmaktadır [1, 2]. Bu kuvvetler altında çalışan tarım makinelerinin kaynaklı birleştirmeleri makine sisteminin yapısal bütünlüğünü koruması ve kendisinden beklenen işlevi sorunsuz bir şekilde yerine getirebilmesi için kaynak dikişlerinin kalite kontrol süreçlerinden geçmesi önem arz etmektedir [1,

4, 5]. Bu nedenle tarım makinelerinde kullanılan çeliklerin ark kaynak işlemlerinde ilk aranan şart kaynak dikişlerinde mekanik bir zorlanma karşısında hasara neden olabilecek kaynak hatalarının olmamasıdır [3, 38]. Yapılan sıvı penetrant testi sonucunda kaynak işlemleri sonrasında uygulanan soğutma rejimlerinin 30MnB5 çeliği malzemelerin kaynak dikişlerinde herhangi bir mikro çatlak, mikro gözenek veya başka bir mikro hataya sebep olmadığı belirlenmiştir.



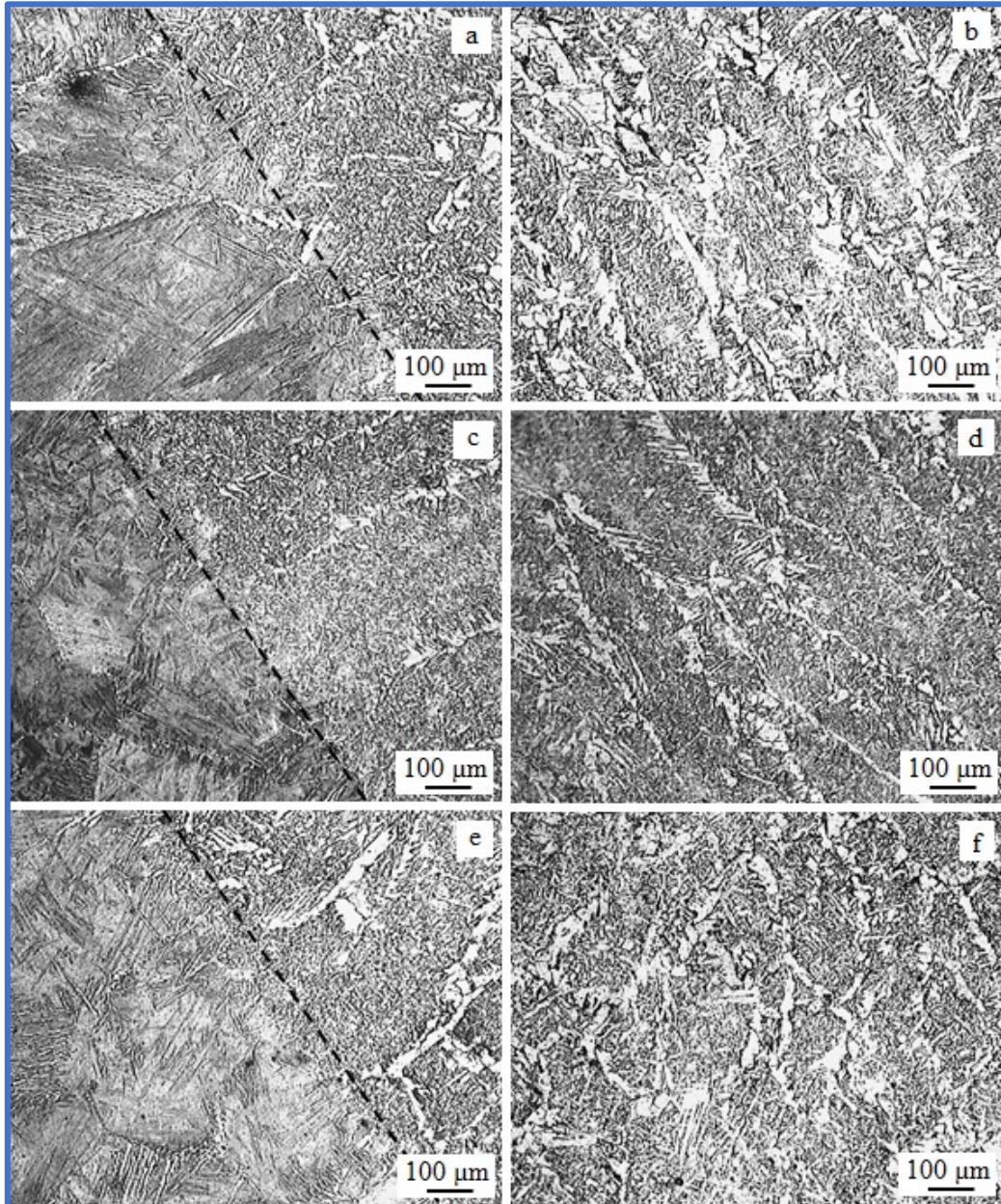
Şekil 4. Sıvı penetrant testi uygulanmış kaynaklı numuneler, a) HS, b) SS, c) EYS

3.3 Mikroyapı

Çalışmada kullanılan 30MnB5 çeliğinin mikroyapısı ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Aynı kaynak parametreleri kullanılarak yapılan kaynak işlemleri sonrasında soğutma rejimine bağlı oluşan ısıdan etkilenen bölge (IEB) ve kaynak metaline ait mikroyapılar Şekil 5'te görülmektedir. Her üç soğutma rejiminde de IEB ve kaynak ergime sınırına bitişik bölgelerde birbirlerinden farklı görüntüler oluşmuştur. Öncelikle kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan ark sıcaklığı esas metalin ferrit + perlitten oluşan yapısını kısmi olarak ergiterek kaynak teli ile birlikte kaynak metalini oluşturmuştur. Kaynak işlemi sırasında ergimeyen ancak yüksek sıcaklığa maruz kalan kaynak metaline komşu bölgede (IEB) esas metalin ferrit + perlitten oluşan yapısı yüksek ısı girdisi nedeniyle çözülmüştür. Ancak farklı soğuma rejimleri uygulanarak soğuma hızına bağlı olarak kaynak bölgesindeki bu çözünme ve dönüşümler sınırlandırılmıştır. Isı girdisinin etkisiyle birlikte karbonun difüzyonu ve soğuma farklılıkları birbirine göre farklılık içeren mikroyapı değişimlerine neden olmaktadır [39-41]. Soğutma rejimine bağlı olarak havada soğutulan kaynaklı numunenin IEB tane boyutu soğuma hızının etkisiyle suda ve endüstriyel yağda soğutulan numunelere nazaran daha kaba ve kolonsal tanelerden oluşmuştur. Suda soğutulan kaynaklı numunenin IEB tane boyutu soğuma hızı daha fazla olması nedeniyle diğer soğutma rejimlerine nazaran daha ince olduğu belirlenmiştir. IEB'lerdeki mikro taneler incelendiğinde soğuma hızına bağlı olarak yoğun olarak poligonal ferrit, levhalı ferrit, tane sınırı ferriti, Widmanstatten ferrit, az miktarda ise asiküler ferrit, beynit ve perlit gibi farklı yapıların olduğu gözlemlenmiştir. Suda soğutulan kaynaklı numunenin IEB tanelerinde iğne şeklinde martanzite benzer yapılarında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5 c). IEB'lerde bölgesel olarak farklı yapıların oluşması ısı girdisine ve soğuma hızına bağlıdır. Literatürde [1, 3, 25-28, 38-43], çeliklerin kaynak metalinde ve

IEB'de soğuma hızına bağlı olarak oluşan yapılar, tane sınırı ferriti, Widmanstatten ferrit, asiküler ferrit, beynit ve perlit olabileceği ifade edilmektedir.

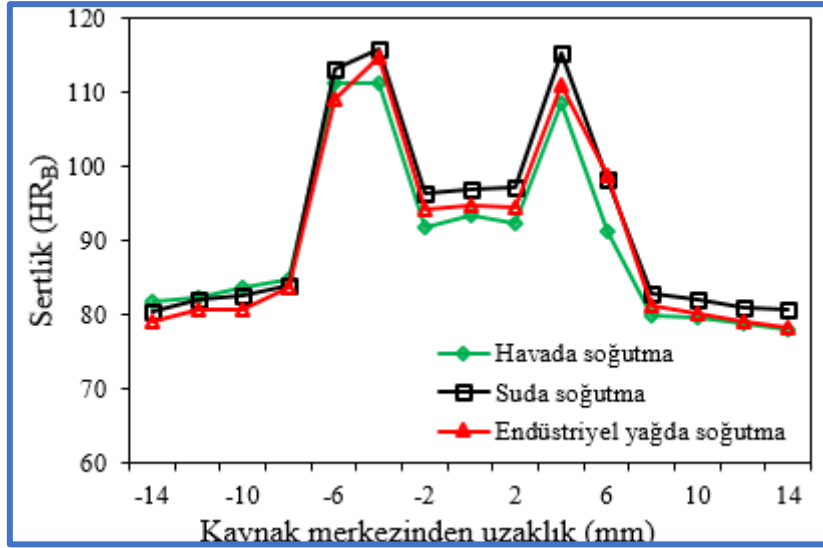
Her üç soğutma rejiminde oluşan kaynak metali mikroyapıları incelendiğinde ağırlıklı olarak tane sınırı ferriti, Widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit ve beynit yapılarının oluştuğu gözlemlenmiştir (Şekil 5 b, d ve f). Ancak soğutma rejimine bağlı olarak kaynak metalinde oluşan bu yapıların miktarı ve boyutları belirgin bir şekilde farklılık göstermiştir. Havada soğutulan kaynaklı numunenin kaynak metalinde yavaş soğuma hızı nedeniyle tane sınırı ferriti, Widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit ve beynit taneleri daha kaba boyutta oluşmuştur. Endüstriyel yağda soğutma da ise soğuma hızı havada soğutmaya göre artığından dolayı kaynak metalinde oluşan bu yapıların boyutları biraz daha küçülmüştür. Suda soğutmada ise en yüksek soğuma hızı nedeniyle kaynak metalinde oluşan bu yapılar daha da ince boyutlarda oluşmuştur. Dolayısıyla da suda soğutma kaynaklı numunenin soğuma hızını arttırmış ve mikro tanelerin kabalaşmasına fırsat vermemiştir.



Şekil 5. IEB ve kaynak metali mikroyapıları, a ve b) HS, c ve d) SS, e ve f) EYS

3.4 Sertlik Sonuçları

Şekil 6'da 30MnB5 çelik levhaların MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonrası farklı soğutma rejimlerinde soğutulan kaynaklı numunelerinin kaynak bölgesi (ana metal, IEB, kaynak metali) sertlik dağılımı verilmiştir. Her üç soğutma rejimi ile soğutulan kaynaklı birleştirmelerde kaynak bölgesi sertlik dağılımı M şeklinde olmuştur. 30MnB5 çeliğinin sertlik ortalaması ~80 HR_B olarak tespit edilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değerleri IEB'lerde ölçülmüş ve onu sırasıyla kaynak metalleri ve esas metaller takip etmiştir. Suda soğutulan kaynaklı numunenin kaynak merkezi sertlik değerlerinin havada ve yağda soğutulan numunelere nazaran daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Havada soğutulan numunenin kaynak metali merkezinin sertlik değerleri 92.4 HR_B, suda soğutulan ve endüstriyel yağda soğutulan numunelerin ise sırasıyla 97.3 HR_B ve 94.3 HR_B olarak ölçülmüştür. Kaynaklı numunelerin IEB'lerinde sertlik değerleri kıyaslandığında, havada soğutulan kaynaklı numunede ortalama 109.9 HR_B, suda soğutulan kaynaklı numunede 115.6 HR_B, endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı numune de ise 112.9 HR_B sertlik değeri belirlenmiştir. Bor, karbür yapıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinde yüksek sıcaklığa maruz kalan IEB'lerin tane sınırlarında soğuma hızına bağlı olarak çok ince tane sınırı bor karbürleri (Fe₂₃(B,C)₆) oluşturabilmektedir [2, 6, 10, 33, 44]. 30MnB5 çeliklerin bünyesinde bulunan bor elementi, çok kuvvetli karbür yapıcı olması nedeniyle bu çeliklerin sertliğini artırıcı etkisi bulunmaktadır [3, 37, 44, 45]. Borlu çeliklerin içyapısındaki dönüşüme etki eden diğer bir faktör, bu çeliklerin bünyesinde bulunan çözünebilir ve bileşik oluşturmamış bor miktarıdır [6, 11, 35]. Borlu çeliklerin içeriğindeki çözünebilir bor miktarı kaynak bölgesinin soğuması sırasında östenitin ferrite dönüşümünü geciktirici etki yapmaktadır [1, 35]. Bu durumda da kaynak bölgesinin soğuması sırasındaki dönüşümler daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Dönüşümün daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi yapıda büyük oranda martenzit ve beynitten oluşan bir yapı ortaya çıkartmaktadır [33, 40, 44, 46]. Soğutma rejimine bağlı olarak soğuma hızındaki artış kaynak bölgesinde martenzit ve çok ince tane sınırı bor karbürlerin oluşmasına neden olduğu ve bu durumda 30MnB5 çeliğin IEB'lerindeki yüksek sertlik değerlerine etki ettiği ve arttırdığı düşünülmektedir. Yaakob vd. [35], gaz metal ark kaynak yöntemi ile birleştirdikleri 22MnB5 borlu çeliğin kaynak bölgesinde IEB'lerin sertliğinin kaynak metallerinin sertliğinden daha yüksek olduğunu ve bu duruma da kaynak işlemi sırasında oluşan ısı girdisinin mikroyapı dönüşümüne neden olduğunu ifade etmişlerdir. Çeliklerin kaynağında IEB'de çatlamaya karşı tedbir olarak kaynak bölgesinin sertliğinin 350 HV'yi (~109 HR_B) geçmemesi tavsiye edilmektedir [3, 24-28]. Tarım makineleri kullanımı sırasındaki ilerleme hızı, toprak cinsi, yükleme durumu gibi faktörler nedeniyle özellikle montaj bölgeleri aynı anda çok farklı gerilmelere maruz kalmaktadır. Uygun mekanik özelliklere sahip montaj bölgeleri tarım makinelerinin yapısal bütünlüğünü koruyarak daha uzun ömürlü olmasına neden olmaktadır. Aksi takdirde, tarım makinelerinin kullanım sürecinde önceden öngörülemeyen hasarlar ortaya çıkmaktadır [1, 4, 5]. Bu durum da hammadde zaman, iş gücü ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Soğutma rejimine bağlı olarak kaynaklı numunelerin IEB'lerinin sertliği kritik sertlik değerini aştığından dolayı çatlama hassasiyetine dikkat etmek gerekir.



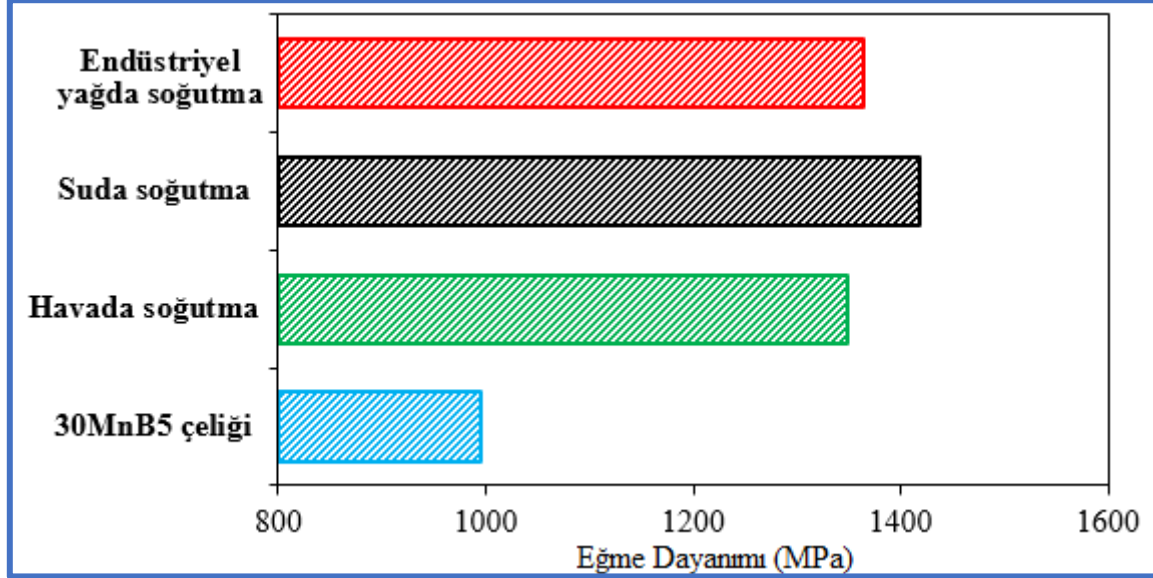
Şekil 6. Kaynaklı numunelerin sertlik dağılımı

3.5 Eğme Test Sonuçları

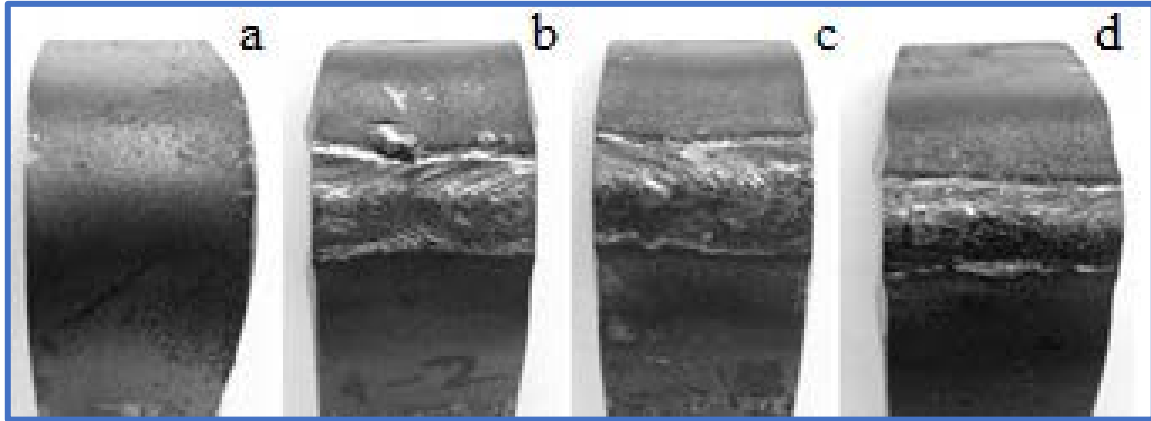
Şekil 7’de 30MnB5 çelik levhaların MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonrası farklı soğutma rejimlerinde soğutulan kaynaklı numunelerinin eğme test sonuçları verilmiştir. Yapılan eğme testi sonucunda 30MnB5 çeliğinin maksimum eğme dayanımı 994.7 MPa olarak belirlenmiştir. Eğme testi sonucunda ana metallerin yüzeylerinde deformasyonun sebep olduğu herhangi bir çatlama, kırılma v.s gibi problemlere rastlanmamıştır. MAG yöntemi ile birleştirilmesi sonrası farklı soğutma rejimlerinde soğutulan kaynaklı numunelerin eğme dayanımları ana metalden daha yüksek çıkmıştır. Kaynak sonrası havada soğutulan kaynaklı numunenin eğme dayanımı 1349.3 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunenin eğme dayanımında ana metale göre % 35.6 oranında bir artış meydana gelmiştir. Kaynak sonrası suda soğutulan kaynaklı numunenin eğme dayanımı 1417.5 MPa olarak belirlenmiş ve ana metal ile kıyaslandığında eğme dayanımında % 42.5 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kaynak sonrası endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı numunenin eğme dayanımı ise 1364.3 MPa olarak belirlenmiştir. Bu numunenin eğme dayanımı ana metal ile kıyaslandığında % 37.1 oranında bir artış meydana gelmiştir.

Kaynak dikişlerinin eğme dayanımına kaynak ağız konfigürasyonu, koruyucu gaz türü, elektrot örtü tipi, kaynak teli türü, ısı girdisi, birleştirilen malzemenin metalürjik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu gibi birçok faktör etki etmektedir [1, 25, 26, 28]. MAG kaynak yöntemi ile birleştirilen 30MnB5 çeliğin kaynak bölgesinin soğuması sırasındaki dönüşümler sonucu oluşan yapılarının (martenzit, beynit v.s) varlığı ve IEB’lerin sertliğinin kaynak metallerinin sertliğinden daha yüksek olması farklı soğutma rejimlerinde soğutulan kaynaklı numunelerin eğme dayanımı artırmıştır. Eğme testi uygulanan kaynaklı numunelerin yüzeylerinde eksik metal yığılması, yanma oluşu kusuru, gözenek, makro ve mikro çatlak v.b kaynak kusurları ile kaynak dikişlerinde yetersiz nüfuziyet gibi kaynak kusurlarının olmaması, eğme testi sırasında kaynaklı numunelerin başarılı bir şekilde deforme edilmesine neden olmuştur (Şekil 8). Eğme dayanımını arttırıcı bir diğer etkende kaynak kepi nedeniyle kaynak dikişinin kesit kalınlığının ana metalden daha yüksek olmasıdır [25, 26, 30]. Çünkü kesit kalınlığının fazla olması birim alana etkiyen kuvvete etki etmiştir. Bu durumda kaynak dikişlerinin eğme dayanımının ana metalden daha yüksek olmasına neden olmuştur. Ark kaynaklarında ilk aranan özelliğin birleştirmenin mekanik özelliklerinin ana metal

ile aynı veya ona yakın olmasıdır [3, 24, 28]. Eğme testlerinde elde edilen sonuçlara göre kaynaklı numunelerin bu şartı yerine getirdiği ve kaynaklı numunelerde deformasyon nedeniyle herhangi hasarın (eğilme çatlakları v.s) oluşmadığı belirlenmiştir.



Şekil 7. Eğme test sonuçları



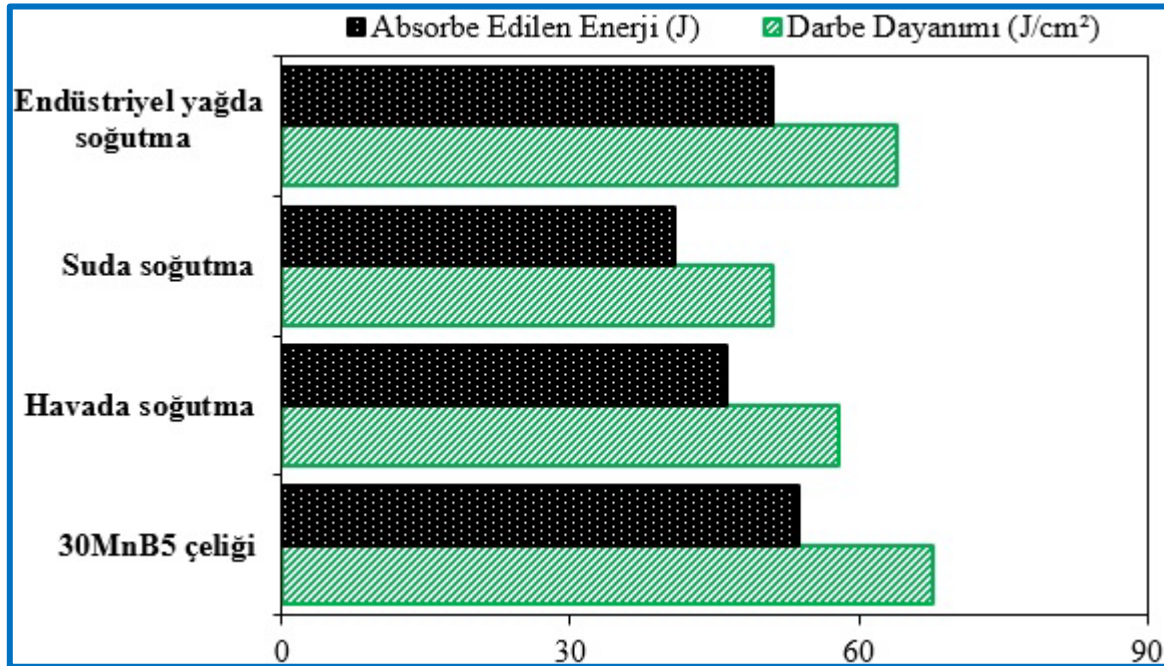
Şekil 8. Eğme test numuneleri, a) 30MnB5 çeliği, b) HS, c) SS, d) EYS

3.6 Darbe Test Sonuçları

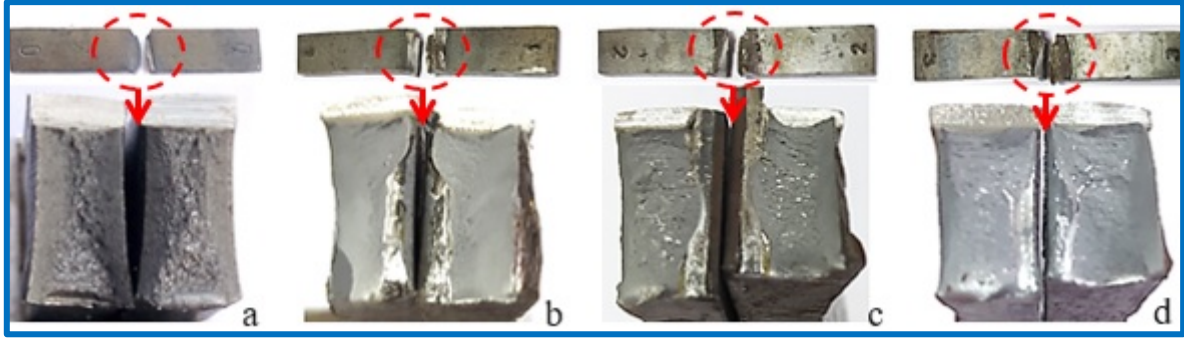
Şekil 9'da 30MnB5 çelik levhaların MAG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi sonrası farklı soğutma rejimlerinde soğutulan kaynaklı numunelerinin darbe test sonuçları verilmiştir. Darbe test sonuçları incelendiğinde 30MnB5 çeliğinin darbe dayanımı 67.2 J/cm^2 , absorbe ettiği enerji ise 53.7 J olarak belirlenmiştir. Kaynaklı numunelerde en yüksek darbe dayanımı endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı numunelerde elde edilmiştir. Endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı numunelerin ortalama darbe dayanımı 64 J/cm^2 , absorbe ettiği enerji ise 51.1 J olarak ölçülmüştür. Endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı numunelerin darbe dayanımı ve absorbe ettiği enerji ana metal

ile kıyaslandığında yaklaşık % 4.8 oranında azalmıştır. Suda soğutulan kaynaklı numunelerde darbe dayanımı 51 J/cm², absorbe ettiği enerji ise 40.8 J olarak belirlenmiştir. Suda soğutulan kaynaklı numunelerin darbe dayanımı ve absorbe ettiği enerji ana metal ile kıyaslandığında yaklaşık %24 oranında azalmıştır. Havada soğutulan kaynaklı numunelerde darbe dayanımı 57.9 J/cm², absorbe ettiği enerji ise 46.3 J olarak belirlenmiştir. Havada soğutulan kaynaklı numunelerin darbe dayanımı ve absorbe ettiği enerji ana metal ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık %13.7 oranında azalmıştır.

Ark kaynakları ile birleştirilen çeliklerin darbe dayanımlarına kaynak dikişi içerisinde bulunan mikro hatalar, tane boyutu, ısı girdisi, soğuma hızı, elektrot türü gibi birçok faktör etki etmektedir [1, 3, 27, 38]. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde soğutma rejiminin kaynaklı birleştirmelerin darbe dayanımına etki ettiği görülmektedir. Daha hızlı soğutma rejimi olan suda soğutmada kaynaklı numunelerin IEB tanelerinde iğne şeklinde martanzite benzer yapıların oluşması bu numunelerin sertliğinde artışa ve buna bağlı olarak da darbe dayanımında düşüşe neden olmuştur. Darbe test sonuçları göz önüne alındığında endüstriyel yağda soğutma yapılan kaynaklı numunelerden ana metala en yakın darbe dayanımı elde edilmiştir. Şekil 10'da darbe test numunelerinin kırık yüzey görüntüleri verilmiştir. 30MnB5 çeliğinin kırık yüzeyleri incelendiğinde sünek karakterli bir kırılma formunun olduğu görülmektedir. Kaynaklı numunelerin kırık yüzeyleri incelendiğinde ise gevrek karakterli kırılma formu oluşmuştur. Bu duruma kaynak dikiş bölgelerinde meydana gelen sertlik artışının neden olduğu söylenebilir.



Şekil 9. Darbe testi sonuçları



Şekil 10. Darbe test numuneleri kırık yüzey görüntüleri, a) 30MnB5 çeliği, b) HS, c) SS, d) EYS

IV. SONUÇLAR

Tarımsal mekanizasyonda yaygın kullanılan 30MnB5 çeliği levhalar MAG kaynak yöntemi ile birleştirme sonrası farklı soğutma rejimlerinde soğutulmuş ve kaynaklı bağlantıların mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

1. 30MnB5 çeliği levhalar MAG kaynak yöntemi ile uygun kaynak parametreleri kullanılarak başarı bir şekilde birleştirilebilir.
2. Yapılan gözle muayene ve sıvı penetrant testleri sonucunda farklı soğutma rejimi uygulanan kaynaklı numunelerde kaynak yüzey hatalarının oluşmadığı belirlenmiştir.
3. Kaynak metali ve IEB'lerde tane sınırı ferriti, Widmanstatten ferrit ve asiküler ferrit, beynit ve martenzit gibi farklı yapılar oluşmuştur.
4. Farklı soğutma rejimleri uygulanan tüm birleştirmelerde kaynak bölgesi sertlik dağılımı M şeklinde olmuştur. Kaynaklı birleştirmelerde en yüksek sertlik değerleri IEB'lerde olduğu görülmüş, onu sırasıyla kaynak merkezi ve ana metal takip etmiştir.
5. Eğme testi sonucunda uygulanan tüm soğutma rejimlerinde kaynaklı birleştirmelerin eğme dayanımı esas metalden yüksek çıkmıştır. En yüksek eğme dayanımı suda soğutma uygulanan kaynaklı numunede elde edilmiştir.
6. Çentik darbe test sonuçlarına göre farklı soğutma rejimi uygulanan kaynaklı numunelerde en yüksek darbe dayanımı endüstriyel yağda soğutulan kaynaklı birleştirmede, en düşük darbe dayanımı ise suda soğutma işlemi uygulanan kaynaklı numunede elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, 30MnB5 çeliklerine kaynak sonrası endüstriyel yağda soğutma işlemi uygulamanın özellikle darbe dayanımı aranan yerlerde uygulanabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Çevik B, Şahin Ö, Gülenç B (2021) Flux cored arc welding on 30MnB5 steels used in agricultural mechanisation: microstructure evolutions and mechanical properties, Sadhana 46: 155. <https://doi.org/10.1007/s12046-021-01681-6>
- [2] Güleç U, Altuntaş E (2013) Farklı kültüratör uç demirlerinin malzeme özelliklerinin belirlenmesi, Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University 2013(1): 13-24. <https://doi.org/10.13002/jafag181>

- [3] Çevik B, (2021) Manual metal arc welding of dissimilar 30MnB5 and S 235 low alloyed steels for agricultural applications, *Materials Testing* 63(11): 999-1006. <https://doi.org/10.1515/mt-2021-0033>
- [4] Şahin A, Altuntaş E, Güleç U (2018) Determination of the strength analysis of the cultivator duckfoot shares with finite element methods, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 32: 257-265. <https://doi.org/10.15316/SJAIFS.2018.92>
- [5] Metinoğlu F, Çakmak B, Balcı Y, Ulusoy ME (2006) Toprak işleme alet ve makinelerinde iş organlarının aşınmasının yakıt, güç ve zaman gereksinimi üzerindeki etkileri, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2(2): 173-179.
- [6] Yazıcı A, Zeybek MS, Güler H, Koç M, Pekitka FG (2017) Effect of carbonitriding on corrosion resistance of steel 30MnB5 in two acidic environments, *Metal Science and Heat Treatment* 59: 190-193. <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0127-8>
- [7] Güler H, Ertan R, Özcan R (2013) Characteristics of 30MnB5 boron steel at elevated temperatures, *Materials Science and Engineering A* 578: 417-421. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.04.116>
- [8] Queirós GW, Bermejo J, Garcia Sanchez L, Gómez Salazar JM, Criado AJ (2018) Improvement of the mechanical properties of 30MnB5 wear-resistant steel by subcritical annealing and water quenching, improving its life cycle analysis, *Journal of Material Science & Engineering* 7: 495. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000495>
- [9] Kayral S (2014). Investigation of mechanical properties and transition temperature of tempered 30MnB5 steel, *Technological Applied Sciences* 9: 43-50. <https://doi.org/10.12739/NWSA.2014.9.4.2A0088>
- [10] Yazıcı A (2011) Wear behavior of carbonitride-treated ploughshares produced from 30MnB5 steel for soil tillage applications, *Metal Science and Heat Treatment* 53(5-6): 248-253. <https://doi.org/10.1007/s11041-011-9377-z>
- [11] Güler Özgül H, Ertan R, Özcan R (2014) Effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 30MnB5 boron steel, *Materials and Technology* 48(6): 971-976.
- [12] Bozkurt F, Çakır FH, Er Ü (2021) Investigation of the tribological and mechanical properties of boron steels in terms of potential usage in agricultural applications, *Politeknik Dergisi* 24(2): 431-438. <https://doi.org/10.2339/politeknik.706532>
- [13] Mejía I, Bedolla-Jacunde A, Maldonado C, Cabrera JM (2011) Hot ductility behaviour of a low carbon advanced high strength steel (AHSS) microalloyed with boron, *Materials Science and Engineering A* 528(13-14): 4468-4474. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.02.040>
- [14] Kolhe K, Dharaskar RM (2009) Welding science the need of farmers for repair of farm tools, *International Journal of Agricultural Engineering* 2: 186-190.
- [15] Uchihara M (2011) Joining technologies for automotive steel sheets, *Welding International* 25: 249-259. <https://doi.org/10.1080/09507111003655341>
- [16] Şenol M, Çam G, (2023) Investigation into microstructures and properties of AISI 430 ferritic steel butt joints fabricated by GMAW, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 202: 104926. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.104926>
- [17] Serindağ HT, Çam G, (2023) Characterizations of microstructure and properties of dissimilar AISI 316L/9Ni low alloy cryogenic steel joints fabricated by GTAW, *Journal of Materials Engineering and Performance* 32: 7039-7049. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07601-x>
- [18] Serindağ HT, Çam G, (2022) Multi-pass butt welding of thick AISI 316L plates by gas tungsten arc welding: Microstructural and mechanical characterization, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 200: 104842. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104842>
- [19] Ezer M, Çam G, (2022) A Study on microstructure and mechanical performance of gas metal arc welded AISI 304L joints, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 53(9): 1043-1052. <https://doi.org/10.1002/mawe.202200050>
- [20] Serindağ HT, Tardu C, Kırçıçek İÖ, Çam G, (2022) A study on microstructural and mechanical properties of gas tungsten arc welded thick cryogenic 9% Ni alloy steel butt joint, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 37: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.12.006>
- [21] Serindağ HT, Çam G, (2021) Microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 430/AISI 304 dissimilar stainless steels butt joints, *Journal of Physics: Conference Series* 1777: 012047 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1777/1/012047>
- [22] Serindağ HT, Çam G, (2022) Gaz tungsten ark kaynaklı 10 mm kalınlığındaki AISI 316L bağlantıların içyapı ve mekanik karakterizasyonu, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 10(4): 1873-1889. <https://doi.org/10.29130/dubited.1015580>
- [23] Serindağ HT, Kırçıçek İÖ, Tardu C, Çam G, (2022) Gaz tungsten ark kaynaklı 9Ni kriyojenik çelik bağlantının içyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Mühendis ve Makine* 63(706): 117-137. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1085742>
- [24] Açar İ, Gülenç B (2021) Effect of shielding gas combination on microstructure and mechanical properties of MIG welded stainless steel 316, *Materials Testing* 63: 97-101. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0014>

- [25] Çevik B (2017) Investigation of mechanical and microstructure properties of S275 structural steel joined by using different flux cored wire, *Journal of Polytechnic* 20: 675-680. <https://doi.org/10.2339/politeknik.339397>
- [26] Çevik B (2018) Effect of welding processes on mechanical and microstructural properties of S275 structural steel joints, *Materials Testing* 60: 863-868. <https://doi.org/10.3139/120.111225>
- [27] Kaya Y, Kahraman N, Durgutlu A, Gülenç B (2010) Tozaltı ark kaynağı ile birleştirilen farklı kalınlıktaki Grade A gemi saclarının mekanik özelliklerinin araştırılması, *e-Journal of New World Science Academy* 5(2): 348-352.
- [28] Kılınçer S, Kahraman N (2009) MIG welding of AISI 409 and Ç1010 steel using an austenitic electrode and investigation of their mechanical properties, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 24: 23-31.
- [29] Oğuz B (1989) *Ark Kaynağı*, İstanbul: Oerlikon-Erdini Basım ve Yayınevi.
- [30] Açar İ, Çevik B, Gülenç B (2023) Weldability of dissimilar stainless steels by MIG welding with different gas combinations, *Sadhana* 48: 69. <https://doi.org/10.1007/s12046-023-02129-9>
- [31] Çevik B, Koç M, (2019) The effects of welding speed on the microstructure and mechanical properties of marine-grade aluminium (AA5754) alloy joined using MIG welding, *Kovove Materialy* 57: 307-316. https://doi.org/10.4149/km_2019_5_307
- [32] Türkmen M, Katı N, Kejanlı H, Çalığülü U (2020) Properties of P460-S355 submerged arc welds, *Materials Testing* 62: 104-108. <https://doi.org/10.3139/120.111449>
- [33] Kim S, Kang Y, Lee C (2013) Variation in micro-structures and mechanical properties in the coarse-grained heat-affected zone of low-alloy steel with boron content, *Materials Science and Engineering A* 559: 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.08.072>
- [34] Morimoto T (2005) Developments in flux-cored wire for gas-shielded arc welding, *Kobelco Technology Review* 26: 49-54.
- [35] Yaakob KI, Ishak M, Idris SRA, Aiman HN, Quazi MM (2018) Characterization of heat-treated gas metal arc-welded boron steel sheets, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 94: 827-834. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0903-z>
- [36] Er Ü (2011) An investigation of the friction and wear behaviour of 15B35H boron steel under dry sliding conditions, *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University* 25: 75-82.
- [37] Hardell J, Kassfeldt E, Prakash B (2008) Friction and wear behaviour of high strength boron steel at elevated temperatures of up to 800 °C, *Wear* 264: 788-799. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2006.12.077>
- [38] Çevik B (2018) The effect of pure argon and mixed gases on microstructural and mechanical properties of S275 structural steel joined by flux-cored arc welding, *Kovove Materialy* 56: 81-87. https://doi.org/10.4149/km_2018_2_81
- [39] Başyigit AB, Kurt A (2015) S32205 dubleks paslanmaz çeliğin TIG kaynağında soğuma hızının mikroyapısal özelliklere etkileri, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 2: 28-36.
- [40] Khan AR, Yu S, Wang H, Jiang Y (2019) Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties in the CGHAZ of electroslag welded pearlitic rail steel, *Metals* 9(7): 742. <https://doi.org/10.3390/met9070742>
- [41] Wang M, Zhang F, Yang Z (2017) Effects of high-temperature deformation and cooling process on the microstructure and mechanical properties of an ultra-strength pearlite steel, *Materials & Design* 114: 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.10.049>
- [42] Küçükömeroğlu T, Aktarer SM, İpekoğlu G, Çam G, (2018) Mechanical properties of friction stir welded St 37 and St 44 steel joints, *Materials Testing* 60(12): 1163-1170 <https://doi.org/10.3139/120.111266>
- [43] Küçükömeroğlu T, Aktarer SM, İpekoğlu G, Çam G (2019) Investigation of mechanical and microstructural properties of friction stir welded dual phase (DP) steel, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 629: 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/629/1/012010>
- [44] Suh CH, Lee RG, Oh SK, Jung Y, Son J, Kim YS (2011) Effect of welding heat input on fatigue life of quenched boron steel and FB steel lap joint, *Journal of Mechanical Science and Technology* 25: 1727-1735. <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0424-x>
- [45] Li F, Fu M, Lin J (2014) Effect of cooling path on phase transformation of boron steel 22MnB5, *Procedia Engineering* 81: 1707-1712. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.217>
- [46] Dagostini VDS, Moura AND, Luz TDS, Castro NA, Orlando MTD, Vieira EA (2021) Microstructural analysis and mechanical behavior of the HAZ in an API 5 L X70 steel welded by GMAW process, *Welding in the World* 65: 1051-1060. <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01102-6>