



VİNÇ SİSTEMLERİNDE KİRİŞLERİN KAYNAKLI BİRLEŞİM YERLERİNİN BAĞLANTI TASARIM OPTİMİZASYONLARININ MODELLENMESİ, SYSWELD KAYNAKLI İMALAT SONLU ELEMANLAR SİMÜLASYONU VE ANALİZİ

Samet DÖNERKAYA^{1*}, Sinan Alp AKYOL²

¹ BVS Bülbüloğlu Vinç Sanayi Ar-Ge Merkezi, 06935 Sincan, Ankara
ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-7577-5124>

²BVS Bülbüloğlu Vinç Sanayi Ar-Ge Merkezi, 06935 Sincan, Ankara
ORCID No : <http://orcid.org/0009-0004-3648-7460>

Anahtar Kelimeler

Öz

Kaynak simülasyonu, kaynak distorsiyonu, aralıklı metot kaynak, SYSWELD

Vinç sistemlerinde kullanılan kirişlerin konstrüksiyonlarında güçlendirme takviyeleri (stiffener) kullanılmaktadır. Bu takviyelerin kiriş boyunca aralıksız şekilde kaynaklı imalat yöntemleriyle birleştirilmesiyle ısıl etkinin olumsuz etkisi artmaktadır. Isıl deformasyon etkisi nedeniyle çarpılma ve buna bağlı kirişlerde bozulmalar meydana gelmektedir. Bu çalışma kapsamında SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı kullanılarak, kaynaklı imalat süreçlerinde oluşan ısıl deformasyon etkilerinin üretim öncesinde bertaraf edilebilmesi hedeflenmiştir. Sonlu elemanlar simülasyonu ve analizleri yapılarak güçlendirme takviyelerinin kaynaklanmasından dolayı oluşan çarpılma ve bozulmalar minimum seviyeye indirgenmeye çalışılmıştır.

Gün geçtikçe endüstriyel uygulamalarda kaynaklı imalat proseslerinde artan hammadde, malzeme, işçilik ve enerji maliyetleri operasyonel kaynaklı birleştirme yöntemlerinde optimizasyon yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Vinç kirişlerinde, kaynaklı imalat operasyonlarında distorsiyon toleransları dahilinde oluşabilecek; deformasyon ve çarpılmaların yön ve büyüklükleri, kaynaklı imalat gerilme konsantrasyonunun oluşturduğu olumsuz etkiler SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı aracılığıyla yürütülen sonlu elemanlar analiz çalışmaları neticesinde üretim öncesinde tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada, vinç endüstrisinde konstrüksiyonlarda yer alan güçlendirme takviyeleri kaynak dikişlerinin kiriş boyunca aralıklı süresiz kaynak yöntemi kullanılması zorunluluğu bu kapsamda yürütülen analizler sonucunda tespit edilmiştir. Ayrıca vinç çelik konstrüksiyonlarında; TS EN 1993-1-8 standardının kaynaklı imalat proseslerinde doğrudan uygulanması durumunda konstrüksiyonların daha ekonomik; Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları yönetmeliği kullanılması durumunda ise daha emniyetli ve güvenli bir vinç sistemi imal edileceği sonucuna ulaşılmıştır.

* s.donerkaya@bvs.com.tr
doi : 10.46399/muhendismakina.1479146

MODELLING OF CONNECTION DESIGN OPTIMIZATIONS OF WELDED JOINTS OF BRACKETS IN CRANE SYSTEMS, FINITE ELEMENT SIMULATION AND ANALYSIS OF SYSWELD WELDED MANUFACTURING

Keywords

Weld simulation, weld distortion, intermittent weld, SYSWELD

Abstract

Stiffeners are used in the construction of beams used in crane systems. The negative effect of thermal effect is increased by joining these reinforcements with welded manufacturing methods continuously along the beam. Due to the thermal deformation effect, distortion and related beam distortions occur. Within the scope of this study, SYSWELD Visual Assembly welded manufacturing simulation programme was used to eliminate the thermal deformation effects that occur in welded manufacturing processes before production. Finite element simulations and analyses were performed to minimise distortions and distortions caused by welding of reinforcements.

Increasing raw material, material, labour and energy costs in welded manufacturing processes in industrial applications day by day necessitate optimisation in operational welded jointing methods. In crane beams, the direction and magnitude of deformations and distortions that may occur within the distortion tolerances in welded manufacturing operations, and the negative effects of welded manufacturing stress concentration can be determined before production as a result of finite element analysis studies carried out through the SYSWELD Visual Assembly welded manufacturing simulation program. In this study, the necessity of using intermittent discontinuous welding method along the beam of the welding seams of the reinforcements in the constructions in the crane industry was determined as a result of the analyses carried out in this context. In addition, it has been concluded that in crane steel constructions; if TS EN 1993-1-8 standard is directly applied in welded manufacturing processes, constructions will be more economical; if the Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures is used, a safer and safer crane system will be manufactured.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 06.05.2024

Kabul Tarihi : 21.10.2024

Research Article

Submission Date : 06.05.2024

Accepted Date : 21.10.2024

Extended Abstract

Introduction/Background

As a result of the simulations and analyzes carried out within the scope of the study, it was determined that distortions and distortions causing structural damage occurred due to the welding seams in the reinforcement integrated into the construction of the carrier beams in the cranes, combined with the continuous (uninterrupted) welded manufacturing method along the crane beams. Operational welded manufacturing parameters such as calculating the direction and magnitude of distortions and deformations that may occur in the structure within tolerances, ensuring residual stress controls that may occur during welded manufacturing, as well as minimizing excessive welding applications and creating optimum welding assembly plans and ideal weld maps, SYSWELD Visual it was determined within the scope of the study before welded manufacturing by using the assembly welded manufacturing simulation program. Objective of this study is to minimize distortions and deformations in crane beam structures due to continuous welding using SYSWELD Visual Assembly simulations. It highlights the need for intermittent welding methods for reinforcement stiffeners, emphasizing the economic benefits of EN 1993-1-8 and the safety advantages of the Regulation on Steel Structure Design.

In order to minimize the undesirable distortion, distortion and deformation effects that may occur in welded manufacturing operations in crane beams, the necessity of applying intermittent method welding method in the welding seams of the reinforcements (stiffeners) in the beam construction, except for exceptional special cases along the beam, has been confirmed as a result of SYSWELD Visual Assembly welded manufacturing finite element analysis studies carried out within the scope of this study.

Objectives

The purpose of this study is to analyze the effects of welding manufacturing processes on the crane beam structures of the crane construction, the design process of which has been completed by making engineering calculations and to determine the necessity of using intermittent welding methods in stiffener weld seams in order to minimize unwanted distortion and deformation effects.

Methods/Methodology

The study's SYSWELD Visual Assembly analyses identified distortions in crane beams from continuous welding of reinforcement stiffeners, suggesting the use of EN 1993-1-8 for economic optimization or the regulation on Steel Structure Design for safety in intermittent welding connections.

Results/Findings

The study examined the application of welding standards and regulations in Turkey, particularly focusing on intermittent corner welding connections, serving as a preliminary study for optimizing structural connections and recommended the direct use of robotic automation systems to minimize distortions and residual stresses during welding operations.

Discussion and Conclusions

In crane steel constructions; if the TS EN 1993-1-8 standard is directly applied in welded manufacturing processes, the construction is more economical; however, utilizing the Regulation on the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures would lead to crane system that is safer and more secure.

1. Giriş

Vinç sektöründe dünya pazarında başta okyanus ötesi ve deniz aşırı ülkeler olmak üzere müşteri kuruluşların vinç sistemlerinin kullanım ve servis ömürleri açısından kalite beklentileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu çerçevede müşteri kuruluşlar isterleri doğrultusunda vinç sistemlerinin projelendirme süreçlerinden, kaynaklı imalat proseslerinde ki operasyonel imalat süreçlerine kadar mühendislik danışmanlık firmaları ve üçüncü taraf denetçileri aracılığıyla üretim ve imalat aşamalarına doğrudan müdahale etmektedirler. Vinç sistemleri özelindeki teorik mühendislik hesaplamaları yapılarak doğrulanana fakat kaynaklı imalat prosesleri gereği hatalı uygulama yapılması suretiyle imal edilen vinç kirislerinin kullanılamamasına hatta çelik konstrüksiyonların doğrudan hurdaya ayrılmasına yol açabilecek istenmeyen olumsuzluklar yaşanabilmektedir.

Vinç sistemlerinde endüstriyel uygulama süreçlerinde en çok tercih edilen kaynaklı imalat birleştirme yöntemleri alın ve köşe kaynağıdır. Ulusal ve uluslararası standartlarda yer alan kaynaklı imalat tasarım detayları ve literatür taramaları bu yöntemler kapsamında gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı imalat proseslerinde yapılan incelemeler doğrultusunda en fazla kullanım alanı bulunan alın ve köşe kaynak yöntemine haiz ilgili standartlar araştırılmış, ülkemizde kullanımına yardımcı olmak amacıyla analiz edilmiştir. Ayrıca yine bu çalışma kapsamında kaynaklı imalat standartlarının vinç sektöründeki çelik konstrüksiyonların kaynaklı birleşim bağlantılarının araştırmaları için ön çalışma niteliği taşımaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında; optimizasyon amacıyla çelik takviyeli dikdörtgen çelik boru kolonlar üzerinde test ve sonlu elemanlar analizleri (Liu, Sun ve Ni, 2023) araştırma konusu olarak incelenmiştir. Diğer taraftan simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılmaları yapılarak, analiz çalışmalarının doğruluğu değerlendirilmiştir. Aralıklı kaynak yönteminin deformasyon ölçeğini tahmin etmek için hidrodinamik, statik sonlu elemanlar analizi ve sayısal interpolasyon entegre edilmesi suretiyle bir hesaplama prosedürü geliştirilmiştir (Jian, Liu, Zhao, Wu, Lei ve Chen, 2021). Kaynak simülasyonu analizi yapılarak, küçük ölçekli bir T-bağlantısı incelenmiştir ve sayısal bir modelleme araştırması tarafından yapılmıştır (Kollár, 2023). Yapılan analizler sonucu tamir kaynağı yapılan ve analiz edilen T-bağlantısında plastik gerilme yaklaşık %33 oranında artarken, Von Mises kalıcı gerilme tepe değerinin yaklaşık %26 arttığı tespit edilmiştir. SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programının ısıtılma işlem, kaynak ve kaynak montaj süreçlerine yönelik tasarım ve imalat sürecinde sıkıntıların tahmin edilmesi, artık gerilmelerin belirlenmesi ve kaynak bağlantısının tahmini tasarım sürecinde uygulanması Sravan ve Jose (KK ve MJ, 2022) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde sunulmuştur.

Toleransları dahilinde yapıda olası muhtemel oluşabilecek distorsiyon, çarpıl-

ma ve deformasyonların yön ve büyüklüklerinin hesaplanması, kaynaklı imalat sırasında oluşabilecek kalıntı gerilme kontrollerinin sağlanmasının yanı sıra gereğinden fazla kaynak uygulamalarının minimum seviyelere indirgenmesi ile birlikte optimum kaynak montaj planı ve kaynak haritalarının oluşturulması gibi operasyonel kaynaklı imalat parametreleri SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı kullanılması suretiyle kaynaklı imalat üretim öncesinde tespit edilebilmektedir (Tiago, Sergio ve Paulo, 2017).

Günümüzde kaynaklı imalat operasyonlarında gün geçtikçe artan hammadde, malzeme, işçilik ve enerji maliyetleri operasyonel kaynaklı birleştirme yöntemlerinde tasarrufa gidilmesini zorunlu kılmaktadır. Geleneksel vinç sistemlerindeki kaynaklı birleşim bağlantılarında; TS EN 1090-2, TS EN 1993-1-8 ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliğine (ÇYTHYE) uygun olarak kaynak geometrisi, etkin dikiş ve boğaz kalınlığı, efektif kaynak dikiş uzunlukları gibi aralıklı (metot) kaynağına ilişkin ideal kaynaklı imalat operasyon parametreleri çalışma kapsamında belirlenmiştir.

Kaynaklı imalat ideal kaynak kalitesi toleransları çerçevesinde kalıntı gerilme kontrollerinin sağlanması, distorsiyon toleransları dahilinde yapıda olası muhtemel oluşabilecek bozulma ve deformasyonların yön ve büyüklüklerinin hesaplanması, kaynaklı imalat sırasında kabul kriterleri toleransları dahilinde kaynak nüfuziyet değerlerinin belirlenmesi, fiktür tespitlerinin yanlış konumlandırılmasından kaynaklanan kaynak hatalarının en aza indirgenmesi ve kaynak montaj planı ile kaynak haritalarının optimum hazırlanması ve gereksiz kaynak uygulamalarının minimum seviyeye indirgenmesi, distorsiyon etkisinden kaynaklanan kaynaklı imalat revizyon işçilik maliyetlerinin azaltılması gibi parametreler SYSWELD Visual Assembly bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyon programı kullanılması suretiyle vinç üretim süreçleri öncesinde tespit edilebilmektedir.

Vinçlerdeki taşıyıcı kirişlerde konstrüksiyona entegre edilen güçlendirme takviyelerindeki (stiffener) kaynak dikişlerinin kiriş boyunca sürekli (aralıksız) kaynaklı imalat yöntemiyle birleştirilmesinden dolayı ısı tesir etkisi altında ısıl deformasyonlar oluşmaktadır. Kaynaklı imalat sürecinde olası muhtemel olumsuz bu etkilerin Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı kullanılarak, üretim öncesinde minimize edilmesi hedeflenmiştir. Güçlendirme takviyelerindeki ısıl deformasyon etkisinden kaynaklanan çarpılma ve bozulmaların minimum seviyeye indirgenmesi sonlu elemanlar analiz faaliyetleri çalışma kapsamında yürütülmüştür. Bu çerçevede vinç sistemlerindeki kaynaklı imalat operasyonel sürecinin parametrik olarak simülasyon ortamına aktarılması ve sonlu elemanlar analizleri yapılarak, üretim öncesinde yapının termo-mekanik davranışlarının belirlenmesi açısından oldukça efektif sonuçlar alınması itibarıyla vinç sektöründeki ileri mühendislik ve gelecek çalışmaları açısından oldukça önem

taşımaktadır. Vinç sistemlerindeki taşıyıcı kirişlerde kaynaklı imalat operasyonlarında meydana gelen ısı girdisi ve şekil değişimi toleranslar dahilinde olması gerekmektedir. Nihai olarak muhtemel bozulma ve deformasyonların yön ve büyüklükleri, kaynaklı imalat gerilme konsantrasyonunun oluşturduğu istenmeyen deformasyon ve şekil bozuklukları Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı ile yürütülen analiz çalışmaları sonucunda imalat operasyonları öncesinde tespit edilebilmektedir.

Vinç sektöründe konstrüksiyonda yer alan güçlendirme plakaları ve takviyeler, kaynak dikişlerinin kiriş boyunca aralıklı süreksiz (metot) kaynak yöntemi kullanılması zorunluluğu bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda tespit edilmiştir. İlâveten bu çalışma kapsamında yapılan incelemeler sonucunda vinç konstrüksiyonlarında; TS EN 1993-1-8 standardının kaynaklı imalat operasyonel süreçlerinde doğrudan uygulanması durumunda daha ekonomik; Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları yönetmeliği imalat uygulamalarında tercih edilmesi durumunda ise daha emniyetli ve güvenli bir çelik yapı imal edileceği sonucuna ulaşılmıştır. Kaynaklı bağlantı analitik hesap ve analiz yöntemleri gibi ileri seviye teknik bilgilere erişilmesi için mevzuatlarda ve yönetmeliklerde yer alan ilgili standartlara doğrudan bakılması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışmanın devamı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde, kaynaklı birleşim bağlantı yöntemlerinin vinç sistemleri üzerindeki uygulamaları incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise, SYSWELD Visual Assembly bilgisayar destekli kaynak simülasyonu paket programı ve parametreleri ile yürütülen sonlu elemanlar analiz çalışmalarının sonuçları verilmiştir. Dördüncü bölümde kaynaklı imalat standardizasyon araştırmalarına bağlı olarak optimum kaynak parametre değerleri görülmektedir. Beşinci ve altıncı bölümlerde ise, aralıklı metod kaynağı ve son olarak elde edilen sonuçlar ve bulgular verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

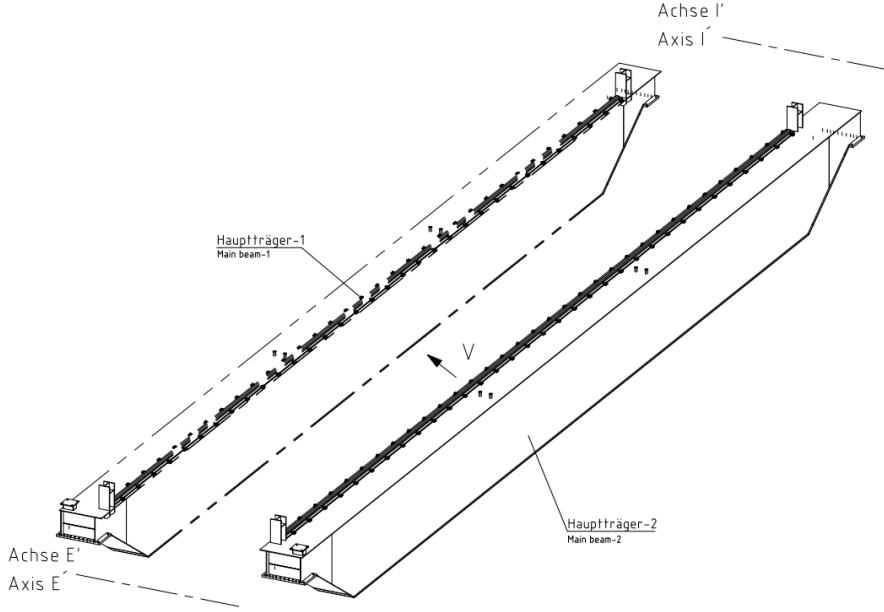
2.1 Vinç Konstrüksiyonlarında Kaynaklı Birleştirme Yöntemleri

Geleneksel vinç sistemlerinde hali hazırdaki kutu kiriş çelik konstrüksiyonlarında operasyonel yük kaldırma prosesinde, yükleme durumunda oluşumu muhtemel burkulma (flambaj) etkisini ekarte etmek amacıyla güçlendirme plakaları (stiffener plate) ve güçlendirme takviyeleri (stiffener) çelik konstrüksiyon yapısına kaynaklı imal usulleriyle uygun kaynak yöntemi belirlenerek birleştirilir. Kirişlerin yapısal olarak tek parça formunda rijit bir şekilde oluşturulmasında güçlendirme elemanları oldukça önem ihtiva etmektedir.

2.2 Kutu Kiriş Güçlendirme Takviyeleri Sürekli Kaynaklı Birleştirme Yöntemi

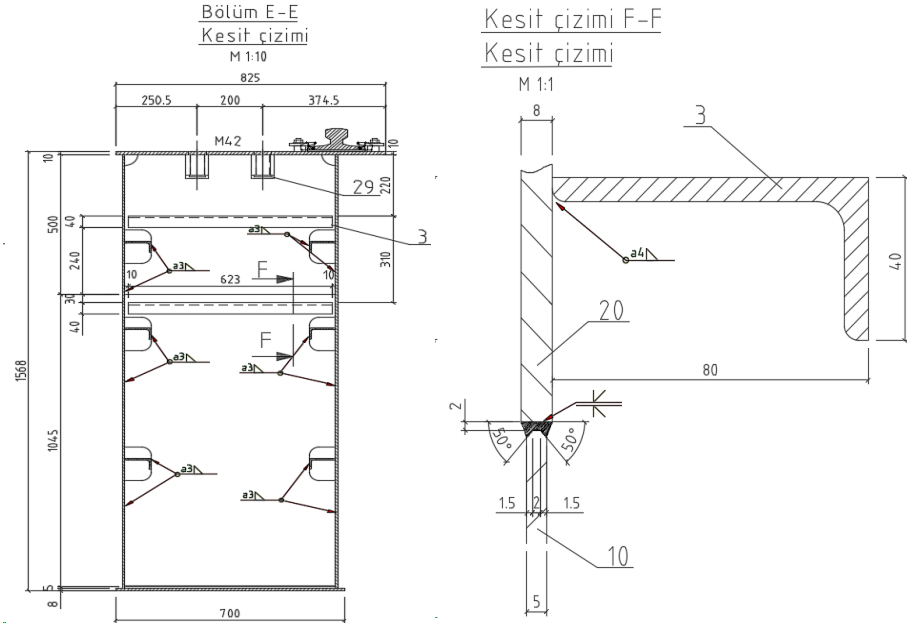
Vinç sektöründe; müşteri kuruluşlar tarafından doğrudan veya üçüncü şahıs de-

netçi firmalar aracılığıyla kirişlerin kaynaklı imalat operasyonlarına müdahale edildiği durumlar bulunmaktadır. Vinç sistemi özelinde kutu kirişlerin yapısal olarak konstrüksiyondan beklenen çalışma ve servis ömrü isterlerini karşılaması gerekmektedir. Vinç sistemi özelinde projelendirilmiş bir kutu kiriş görseli Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Vinç Yapı Sınıflandırması Açısından Yüksek Çalışma Çevrim Sıklığına Sahip Vinç Sistemi Taşıyıcı Kutu Kiriş Genel Görünüşü

Vinç sistemlerinde mühendislik ve analitik hesaplamaları yapılarak oluşturulan taşıyıcı kiriş kesitlerinin kaynaklı birleştirme üretim operasyonları için Şekil 2’de görüldüğü üzere proje imalat teknik çizimleri gerçekleştirilmektedir. Müşteri kuruluş tarafından belirlenerek, kaynaklı imalat operasyonlarında doğrudan kullanılmak üzere; kaynak dizilimleri, dikiş süreklilikleri, dikiş uzunlukları ve dikiş yükseklikleri de teknik resim detaylarında verilmektedir. Kiriş sisteminde kaynaklı imalat operasyonlarına parametrik olarak müdahale edilen kutu kiriş güçlendirme takviyesi ve güçlendirme plakalarının sürekli (aralıksız) boylu boyunca kaynaklı imalat uygulama görselleri Şekil 3’te verilmiştir.

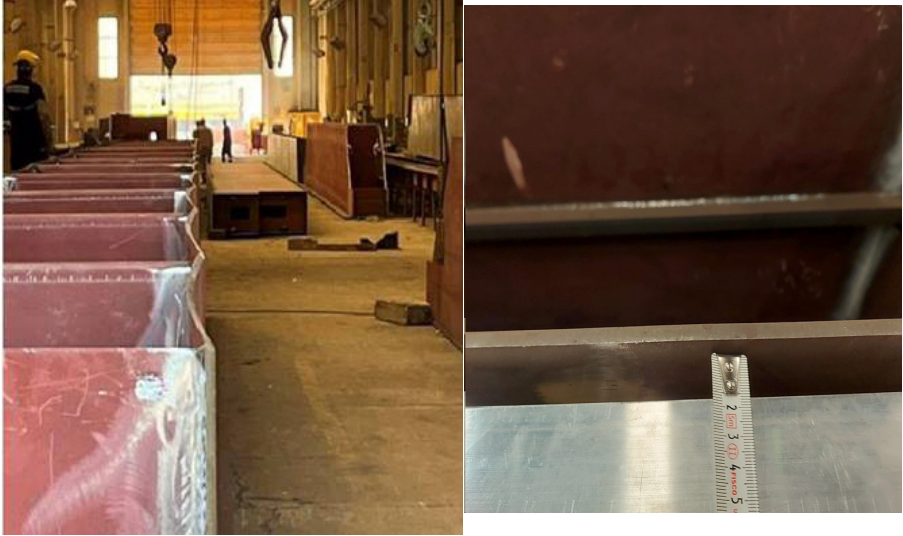


Şekil 2. Vinç Sistemlerinde Kutu Kiriş Güçlendirme Takviyesi (Stiffener) ve Güçlendirme Plakası (Stiffener Plate) Kaynaklı Birleştirme İmalat Detayları



Şekil 3. Vinç Sistemlerinde Kutu Kiriş Çelik Konstrüksiyonu Güçlendirme Takviyesi (Stiffener, Soldaki Görsel) Ve Güçlendirme Plakası (Stiffener Plate, Sağdaki Görsel) Sürekli (Aralıksız) Kaynaklı Birleştirme Hatalı İmalat Detayı Görünümü

Vinç sistemleri kutu kiriş çelik konstrüksiyonlarında müşteri kuruluş tarafından spesifik belirlenen kaynaklı imalat proses parametreleri üretim aşamalarında doğrudan uygulanabilmektedir. Güçlendirme takviyelerindeki kaynak dikişlerinin kiriş boyunca sürekli (aralıksız) yekpare kullanılması sonucu, taşıyıcı kirişlerde ısı tesiri altında oluşan ısıl deformasyonlara bağlı bozulmalar ve kalıntı gerilmeleri nedeniyle şekil değişimleri ve yüzey bozulmaları gerçekleşmiştir. Bu durum Şekil 4'teki görselde görülmektedir. Vinç kirişlerinde istenmeyen yapısal hasara neden olan çarpılmalar tespit edilmiştir. Nihai sonuçta ısıl deformasyonlardan kaynaklı kirişlerde meydana gelen bu çarpılma ve bozulmalar nedeniyle kirişlerin konstrüksiyon yapıları vinç sisteminde kullanılmayacak yapısal forma dönüşmüştür.

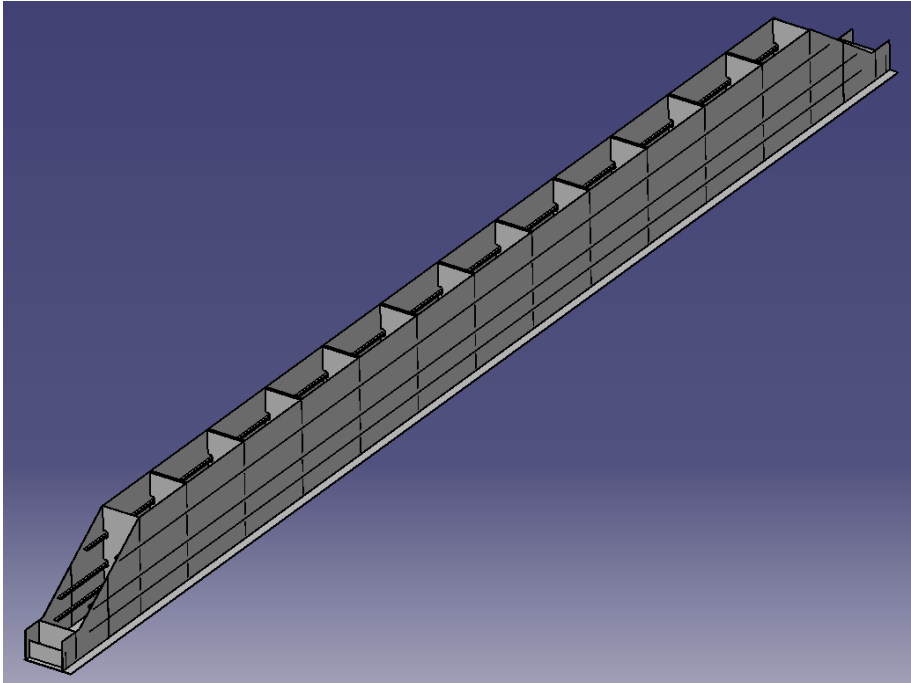


Şekil 4. Vinç Sisteminde Müşteri Kuruluş Tarafından Hatalı Kaynaklı İmalat Parametreleri Belirlenmesinden Dolayı Kiriş Yapısının Hasara Uğrayarak Çarpılma Ve Bozulmaların Meydana Geldiği Konstrüksiyon Görseli

Bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyon programı SYSWELD Visual Assembly yardımıyla üretim öncesinde olası muhtemel yapıda oluşabilecek ısıl deformasyon etkisinden kaynaklanan çarpılma ve bozulmaların simülasyon ortamında minimum seviyelere indirgenmesi, sonlu elemanlar analiz çalışmaları ile mümkün kılınmıştır. Bu çalışma kapsamında mevcut kaynaklı imalat dataları doğrultusunda Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon programı kullanılarak deformasyona uğrayan vinç kirişlerinin; kaynak proses kurgusu sonlu elemanlar ortamında modellenmiş; çarpılma miktarı yön ve büyüklükleri, kalıntı gerilmeleri ve zamana bağlı sıcaklık değişimleri analiz edilmiştir.

3. Vinç Sistemlerinde Kaynaklı İmalat Simülasyon Analizleri

Günümüzde vinç sistemlerinde bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyon yazılımlarının teorik olarak temel çalışma prensibi Shrinkage büzülme metoduna dayanmaktadır. Shrinkage metodolojisi ise kaynak prosesinin ısı etkileri nedeniyle yapı veya konstrüksiyon üzerinde meydana gelebilecek büzülme ve genişleme karakteristik davranışları baz alınarak, sistemde oluşabilecek deformasyonların sonlu elemanlar ortamında simüle edilmesi suretiyle çözümlenmesine dayanmaktadır.




Şekil 5. Vinç Kiriş Sistemi Kaynaklı İmalat Simülasyonu 3D Modeli (CAD)

Kaynaklı imalat operasyonel sürecinde kullanılacak çelik malzeme, dolgu teli ve kaynak sıralamasının parametrik olarak imalat kalitesine etkileri, ısı etkileşiminden kaynaklanan kalıntı gerilmelerinin lokal tespiti (Xu, Gilles, Duan ve Yu, 2012), deformasyon optimizasyon çalışmaları, istenilen tolerans değerleri dahilinde optimum kaynak planının oluşturulması, fikstür ve tespit bağlantı noktalarının kaynak sonuçlarına yönelik etkileri, ön imalat risklerine bağlı olarak prototip maliyetlerinde tasarruf edilmesi, mühendislik işçilik efor adam/ay saatlerinin optimizasyonu gibi birçok etmenin erken aşamada önceden tespiti ve proje marjlarının belirlenmesi hassasiyetinde bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyonları bu noktada oldukça önem taşımaktadır (ESI Group, 2010). Şekil

5'te proje kapsamında SYSWELD Visual Assembly kaynak simülasyonuna hazırlık aşamasında kaynak prosesi özelinde modellenmiş giriş geometrisine ait modelin CAD (Computer Aided Design) görünümü verilmiştir.

3.1 SYSWELD Visual Assembly Kaynaklı İmalat Simülasyonu Parametre Tanımlamaları

Kaynaklı imalat simülasyonunda; malzeme reçetesi (yoğunluk, elastiklik modülü, poisson oranı), kaynak yöntemi ve dikiş parametreleri, operasyonel süreçte optimum kaynak sıralaması planı, parametrik fikstür tanımlamaları (klemp, pim, kontakt, konnektör) ve kaynaklı imalat operasyonunun gerçekleştirildiği ortam sıcaklığı ve kaynak sonrası soğuma prosesi süresi SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon girdileri olarak tanımlandıktan sonra oluşan kalıntı gerilmeleri, ısıl deformasyonlara bağlı çarpılma ve bozulma karakteristik davranış optimizasyonu, zamana bağlı sıcaklık değişimleri ve dağılım karakteristiğine bağlı kaynaklı imalat simülasyon çıktıları analiz sonuçları olarak elde edilmektedir (Bate, Charles ve Warren, 2009).

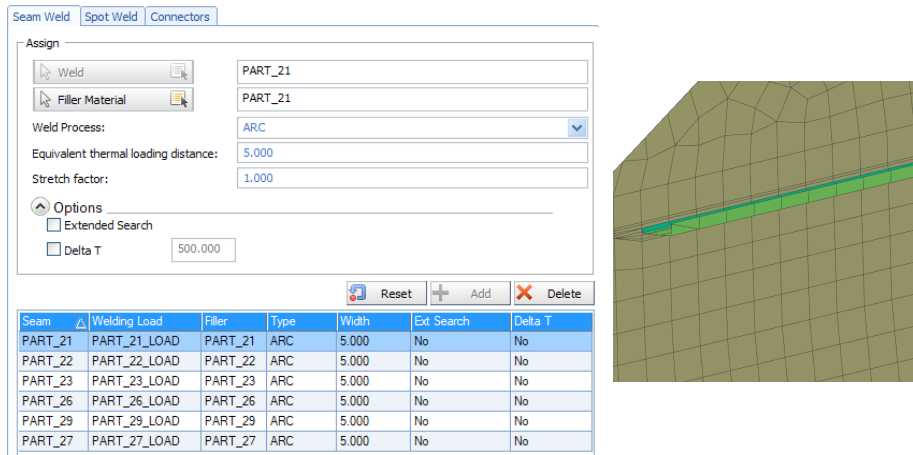
Property	Type	Value	Value Unit	F(*) Unit
Young's Modulus	Const.	209235	N/mm ²	
Poisson's Ratio	Const.	0.3		
Yield Strength	F(STRAIN)		N/mm ²	
Density	Const.	7.804043e-09	ton/mm ³	
Thermal Expansion Coefficient	Const.	2.5e-05	1/K	
Melting Temperature	Const.	1445	C	
Correction Factor Bead Width	Const.	1		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Comments										
Card Data										
1	MATER /	IDMAT 12	MATYP 1	RHO 304043E-9	ISINT 0	ISHG 2	ISTRAT =	IFROZ		
2	BLANK	AUXID1	AUXID2	AUXID3	AUXID4	AUXID5	AUXID6	QVM	IDMPD	AND
3		0	0	0	0	0	0	1.	0	0
TITLE										
NAME St37 (Solid)										
Meta										
4	G	sigmOPTN	Et	ALPHA	BLANK	BLANK	STRAT1	STRAT2		
	81149.	URVE	0.	2.5E-5			0.	0.		
5	K	EYWORD								
	165421.6	=								
6	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8		
	12	0	0	0	0	0	0	0		
7	EP SLN1	EP SLN2	EP SLN3	EP SLN4	EP SLN5	EP SLN6	EP SLN7	EP SLN8		
	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
8	BLANK	KSI	Fo							
	0.	0.	0.							
9	STRAT3	STRAT4	STRAT5	STRAT6	Q1	Q2	Q3			

Şekil 6. SYSWELD Visual Assembly Kaynaklı İmalat Simülasyonu Malzeme Kartının Entegrasyonu (S235JR)

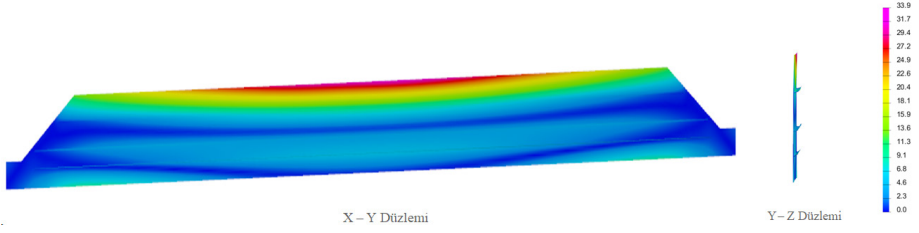
Çalışma kapsamındaki proje özelinde hesaplamalı malzeme mühendisliği çözümü Jmat Pro ile entegrasyon yapılarak, SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilecektir. Mevcut vinç kirişi model montajı ve kaynak teli malzemesi olarak S235JR malzeme kartı özellikleri tanımlanmış, Visual Assembly programına Şekil 6'da verilen malzeme reçetesi aktarımı ve materyal veri transferi gerçekleştirilmiştir.

Vinç kirişi özelinde kaynaklı imalat simülasyon analizleri için gerekli olan kaynak parametreleri ve kaynak planına bağlı kalınarak kaynak dikişlerinin sıralaması vinç sistemi simülasyon geometri modeli üzerine Şekil 7'de görüldüğü üzere parametrik olarak atamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yine reel üretim operasyonel süreci göz önünde bulundurularak, imalat sahası ortamında kaynatılacak kiriş modelin fikstür mesnet sabitleme noktaları belirlenerek programa tanımlanmış, analiz için simülasyon hazırlıkları ve Visual Mesh yardımıyla mesh atamaları yapılmıştır.



Şekil 7. Kaynaklı İmalat Simülasyonu (Visual Assembly) Kaynak Parametrelerinin (Kaynak Yöntemi, Kaynak Dikiş Yüksekliği, Kaynak Dizilimleri) Tanımlanması Ve Visual Mesh ile Mesh Dağılımı Konfigürasyonu

Sistemde istenilen sınır şartlarını sağlayabilen optimum kaynak planının haritalanması, deformasyon kaynaklı kalıntı gerilmeleri ve çarpılmaların minimize edilmesi, kaynak prosesi sırasında oluşan zamana bağlı sıcaklık dağılımlarının kontrolü, kaynaklı imalat kalitesinin sabit tutularak belirlenen toleranslar dahilinde montaj sınır şartlarının sağlanması, üretim ve işçilik maliyet kalemlerinin minimize edilmesi gibi kaynaklı imalat ileri mühendislik çalışmalarının yürütüldüğü SYSWELD Visual Assembly simülasyon çarpılma ve kalıntı gerilmelerine ait analiz sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Visual Assembly Kaynaklı İmalat Analizleri Çarpılma Sonuçları

Kaynaklı imalat parametreleri doğrultusunda üretim operasyonları gerçekleştirilen mevcut kirişlerdeki gerçek çarpılma miktarı $\delta_{real} = 18$ mm ölçülürken, SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat analiz sonuçlarında bu değer $\delta_{FEA} = 16$ mm olarak hesaplanmakta ve yaklaşık %11.1 bir sapma değeri ile kabul edilebilir seviyelerde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda kaynaklı imalat operasyonları öncesinde bilgisayar destekli sonlu elemanlar analizleri yardımıyla taşıyıcı kiriş sistemleri üretilmeden önce yapıda herhangi bir hasarın oluşup oluşmadığı önceden tespit edilebilmektedir. Bu hassasiyette kaynaklı imalat analiz simülasyonu yapılmadan doğrudan müşteri kuruluş kaynaklı imalat proses isterleri doğrultusunda üretim yapılması durumunda; hammadde, malzeme, işçilik ve enerji gibi ek maliyet oluşumlarının önüne geçilebilmektedir.

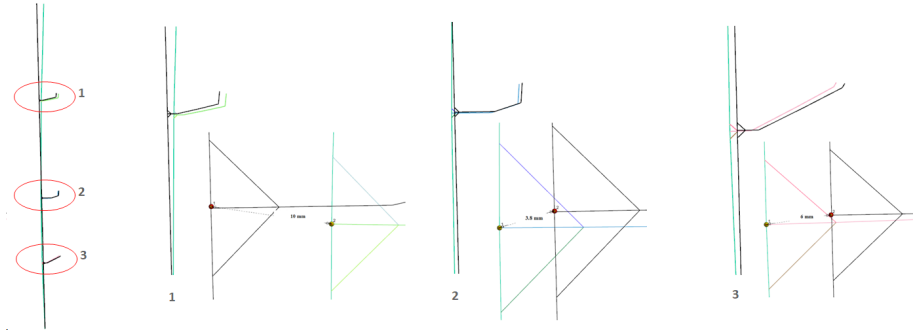


Şekil 9. Visual Assembly Simülasyonu Kalıntı Gerilmeleri Sonuçları ($\sigma_{max} = 416.8$ MPa)

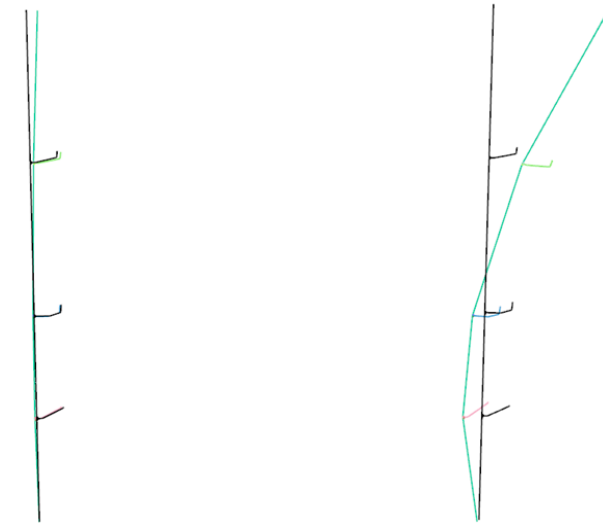
Simülasyon ortamında analiz çıktısı olarak kaynak sonrası çarpılma davranışı karakteristiğine bağlı kirişte mevcut konumlandırılan güçlendirme takviyelerinin negatif yönde yönelimleri ve büyüklükleri Şekil 10'da detaylandırılarak verilmiştir.

Vinç sistemlerinde kirişlerde konstrüksiyona entegre edilen güçlendirme takviyelerindeki kaynak dikişlerinin kiriş boyunca sürekli (aralıksız) kaynaklı imalat yöntemiyle birleştirilmesinden dolayı deformasyon ve yapısal hasarlara neden olan çarpılma ve bozulmalar meydana geldiği çalışma kapsamında yapılan iş özelindeki simülasyon ve analizler neticesinde doğrulanmıştır (Ramos, Tavares ve Castro, 2018). Kaynaklı imalat sürecinde kaynak bölgelerindeki çarpılma durumuna bağ-

lı yapısal çarpılma karakteristik davranışı Şekil 11’de verilmiştir. Görsellerde yer alan siyah renk kirişin referans başlangıç ilk konumunu temsil etmektedir. Ayrıca Şekil 11’de sağ tarafta yer alan görselde kaynak sonrası çarpılma yönelimini ifade etmek amacıyla simülasyonda 10 kat abartılarak gösterilmiştir.



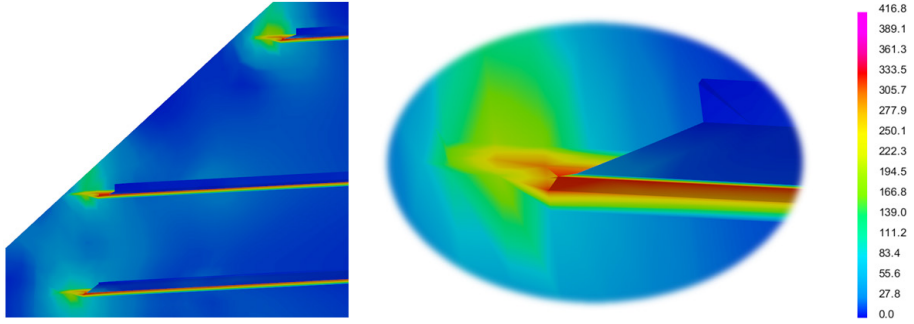
Şekil 10. SYSWELD Visual Assembly Kaynaklı İmalat Simülasyon Analizi Sonucunda Vinç Kirişindeki Yan Saclarda Güçlendirme Takviyelerinin (Stiffener) Her Bir Kaynak Bölgesindeki Çarpılma Durumu (1.Stiffener: 10 mm, 2.Stiffener: 3,8 mm, 3.Stiffener: 6 mm)



Şekil 11. SYSWELD Kaynaklı İmalat Simülasyon Ortamında Kaynak Sonrası Kirişin Çarpılma Davranışı Ve Yönelimleri (Nominal Durum, Soldaki Görsel ve 10 Kat Abartılı Durum, Sağdaki Görsel)

SYSWELD kaynaklı imalat simülasyon analizleri sonucunda; vinç kirişlerinde lo-

kal olarak geometrik daralma bölgelerinde maksimum değerlere ulaşan kalıntı gerilmeleri simülasyon sonuçları Şekil 12’de verilmiştir. Bu doğrultuda vinç sektöründe tersine mühendislik çalışmalarıyla desteklenen talepler doğrultusunda kiriş geometrilerinde spesifik farklı tasarımlara gidilmesi suretiyle oluşması muhtemel kritik kalıntı gerilmeleri optimize edilerek, yapıdaki olumsuz etkilerin bertaraf edilmesi mümkün kılınmıştır.



Şekil 12. SYSWELD Kaynaklı İmalat Simülasyon Analizi Vinç Kirişi Yan Plaka Geometrik Daralma Bölgesi Maksimum Kalıntı Gerilme Bölgeleri

Bu çalışma kapsamında nihai sonuçta müşteri kuruluş tarafından kaynaklı imalat parametreleri belirlenerek; güçlendirme takviyeleri ve güçlendirme plakaları özelinde geleneksel yöntemlere nazaran aralıksız yekpare kaynatılması istenmesi sebebiyle kirişlerde çarpılma ve bozulmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan SYSWELD Visual Assembly bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyon programları yardımıyla ısı tesiri ve distorsiyon etkisinden kaynaklı meydana gelebilecek çarpılma, bozulma ve kalıntı gerilmelerinin üretim öncesinde tespit edilmesine imkan sunulmaktadır (Ramos ve diğ., 2018).

4. Vinç Sistemlerinde Kaynaklı İmalat Operasyonlarının Standardizasyonu Ve Proses Optimizasyon Çalışmaları

4.1 Vinç Sistemlerindeki Kutu Kiriş Güçlendirme Takviyeleri (Stiffener) Aralıklı (Metot) Kaynaklı Birleştirme Yöntemi

Teknolojik ilerlemelerle birlikte Avrupa Topluluğu ülkeler başta olmak üzere 2012 yılından itibaren çelik yapıların tasarım, montaj ve hesaplama yöntemlerini kapsamlı olarak analiz eden Eurocode 3 (EC3) standardının yapı ve konstrüksiyonlara entegrasyonu endüstriyel uygulamalarda zorunluluk haline getirilmiştir. Ülkemizde çelik yapı sektöründe hizmet vermekte olan kuruluşlarda doğrudan uygulanabilmesi ve yaygınlaştırılabilmesi amacıyla Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafında TS EN 1993-1 şemsiye standardı altındaki alt kırımları

(Örneğin; TS EN 1993-1-1: Çelik Yapıların Tasarımı-Genel Kurallar Ve Binalara Uygulanacak Kurallar) formunda kalite yönetim sistemlerine entegre edilmektedir (European Committee for Standardization, 2005). Çelik yapı konstrüksiyonlarında kaynaklı bağlantı tasarım esasları ve hesaplama yöntemlerini kapsayan EN 1993-1-8 standardı kapsamında EN 1993-1-1 standardına uygun olarak kaynaklanabilen 4 mm ve üzeri ($t \geq 4$ mm) malzeme kalınlıklarındaki yapı çeliklerini kapsamaktadır. Diğer taraftan daha ince et kalınlıktaki malzemelerin ($t < 4$ mm) kaynaklı imalat prosesleri için EN-1993-1-3 referans alınmaktadır (European Committee for Standardization, 2005).

4.2 Vinç Kiriş Köşe Kaynaklarında Etkin Dikiş Kalınlıkları Analitik Hesaplamaları

Bir konstrüksiyonda literatürde yer alan ilgili standartlar ve regülasyonlara bakıldığında; köşe dikişine ait efektif kaynak dikiş kalınlığı a ile gösterilmekte olup, teorik olarak kaynak kök noktasına kadar dikişin içerisine sığdırılabilen ikizkenar veyahut çeşitkenar üçgenin dik yüksekliği olarak kabul edilmektedir. Mevzuatlarda yer alan sınırlandırmalar çerçevesinde köşe kaynağında minimum etkin dikiş kalınlığı (a), sistemdeki kuvvetin emniyetli ve güvenli olarak aktarılabilmesi için Tablo 1’de verilen minimum kaynak dikiş kalınlık değerlerinden az olmaması zorunlu kılınmıştır.

Tablo 1. Köşe Kaynakları Minimum Etkin Kaynak Dikiş Kalınlık Değerleri Karşılaştırılması (TÇY, 2016; AWS, 1978)

Kaynaklı İmalat İle Birleştirilecek Yapı Elemanının Et Kalınlığı t_{min} (mm)	ÇYTHYE Minimum Köşe Kaynak Dikiş Kalınlığı* a_{min} (mm)	AWS D1.1/D1.1M:2020 Minimum Köşe Kaynak Dikiş Kalınlığı a_{min} (mm)
$t_{min} \leq 6$	3.0 mm	3.0 mm
$6 < t_{min} \leq 13$	3.5 mm	5.0 mm
$13 < t_{min} \leq 19$	4,0 mm	6.0 mm
$19 < t_{min}$	5,5 mm	8.0 mm

*Tek pasolu (geçişli) kaynak kuralı tercih edilmelidir.

Kaynaklı imalat yöntemlerinde optimal nüfuziyetin sağlanabilmesi için Tablo 1’de görüldüğü üzere minimum etkin kaynak dikiş kalınlığı (a_{min}) en az 3 mm olarak kaynaklı birleştirme operasyonlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Bakınız Şekil 2). Diğer taraftan yine Tablo 1’de yer alan Amerikan Kaynak Cemiyeti (American Welding Society: AWS) tarafından belirlenen minimum kaynak dikiş kalınlıkları, ÇYTHYE yönetmeliğine nazaran daha emniyetli ve güvenli ol-

duğu bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar sonucunda analiz edilmiştir. TS EN 1993-1-8: elik Yapıların Tasarımı: Birleşim Yerlerinin Tasarımı, standardında belirtildiği üzere; bir konstrüksiyonda kaynaklanarak birleştirilecek malzemelerin maksimum et kalınlık “t_{max}” değerine bağlı minimum kaynak dikieş kalınlığı “a_{min}” değeri aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır (DIN EN 1993-1-8, 2010).

$$a_{\min} \geq - (0.5) [\text{mm}] \quad (1)$$

Kaynaklı imal usulleri ile birleştirilecek konstrüksiyonda ince kenar kesitli yapı elemanının minimum et kalınlığı “t_{min}” baz alınarak, köşe kaynaklarının maksimum dikieş kalınlık “a_{max}” değerleri aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmaktadır (TY, 2016). Konstrüksiyonda kaynaklanacak ince kesitli parçanın et kalınlığı 6 mm ve daha ince (t_{min}≤6 mm) olması durumunda; kaynaklı imal usulleri kullanılarak birleştirilecek malzemenin kaynak operasyonu sırasında yanma hadisesi oluşmadan birleştirilebilmesi amacıyla maksimum kaynak dikieş kalınlığı aşağıda verilen formül kullanılarak sınırlandırılmaktadır.

$$[t_{\min} \leq 6 \text{ mm}]; a_{\max} \leq t_{\min} \times (0.7) [\text{mm}] \quad (2)$$

Kaynaklı imalat ile birleştirilecek ince kesitli elemanın parça et kalınlığı 6 mm’den daha kalın (t_{min}>6 mm) olması durumunda ise maksimum kaynak dikieş kalınlığı aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$[t_{\min} > 6 \text{ mm}]; a_{\max} \leq (t_{\min} - 2 \text{ mm}) \times (0.7) [\text{mm}] \quad (3)$$

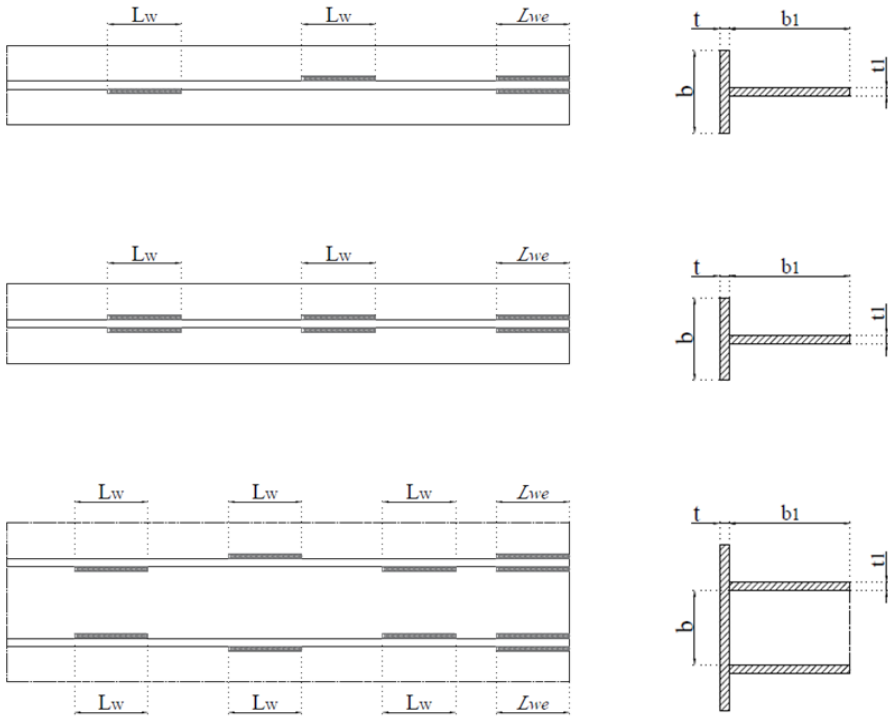
4.3. Aralıklı (Metot) Köşe Kaynaklarının Efektif Kaynak Dikieş Uzunlukları ve Dizilimleri

elik konstrüksiyonlarda mevzuatlarda yer alan EN 1993-1-8 standardında da belirtildiği üzere köşe kaynak dikieş uzunlukları etkili minimum kaynak dikieş uzunluğu 30 mm’den (L_w≥30 mm) veyahut kaynak dikieş (boğaz) kalınlığının 6 katından (L_w≥6×a) yapının güvenli ve emniyetli olması açısından daha az olması gerekmektedir. Köşe kaynak dikieşi etkin uzunluğu; 30 mm’den veya kaynak etkin dikieş boğaz kalınlığının 6 katından daha az olduğu takdirde yapısal olarak sistemdeki kuvvetlerin aktarımında kaynak uzunlukları hesaplamalara dâhil edilmemektedir (EN 1993-1-8, 2010).

ÇYTHYE yönetmeliğinde ise kaynaklı imalatta köşe kaynaklarının minimum etkin kaynak dikieş uzunluğu 40 mm’den (L_w≥40 mm) veya yine benzer şekilde kaynak dikieş kalınlığının 6 katından (L_w≥6×a) daha az olmaması gerektiği mevzuatlarda açıkça ifade edilmektedir. Ayrıca bu koşul sağlanamadığı takdirde ise etkin kaynak dikieş kalınlığı (a), Şekil 13’te görüldüğu üzere etkin kaynak dikieş uzunluğunun L_w’nin 1/6’sı oranında olması gerektiği önerilmektedir (Ameen, 2014).

Kesintili süreksiz (metot) köşe kaynak dikişleriyle birleştirilerek oluşturulan bir konstrüksiyonda, yapı elemanlarının bütün uçlarında yer alan kaynak dikişinin uzunluğu olan " L_{we} "; dar ölçüdeki yapı elemanının genişliğinin b veya b_1 (Bakınız Şekil 13) en az $3/4$ 'ü yani yaklaşık olarak minimum %75'i kadar sürekli aralıksız köşe dikişi devam ettirilerek yapının başlangıç ve bitiş uç noktalarının her iki tarafta da sonuna kadar kapatılması gerekmektedir.

Konstrüksiyonda kaynaklı imalat yöntemiyle doğrudan birleştirilecek yapı elemanlarının, yapının uçlarında veyahut kenarlarında tamamlanan köşe kaynakları mümkün olduğunca tam ve konstrüksiyonun sonuna kadar minimum kaynak kenar uzunluğunun en az iki katı ($2 \times L_w$) bir mesafe boyunca köşelerde ve uç kısımlarda süreklilik sağlamak suretiyle operasyonel kaynak sürecinin tamamlanması gerekmektedir (DIN EN 1993-1-8, 2010). Bu bağlamda Tablo 2'de görüldüğü üzere EN 1993-1-8 standardı ile ÇYTHYE yönetmeliği karşılaştırıldığında, sonuç olarak çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar yönetmeliğinin daha emniyetli ve güvenli tarafta kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 13. Aralıklı (Süreksiz) Metot Köşe Kaynakları İçin Etkin Dikiş Uzunlukları (L_w , L_{we})

Tablo 2. Köşe Kaynağında Etkin Dikiş Uzunlukları L_w ve L_{we} Karşılaştırılması (European Committee for Standardization, 2005; TÇY, 2016)

	EN 1993-1-8: Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE)
Köşe Kaynağı Minimum Etkin Uzunluğu (L_w)	$L_w \geq 30 \text{ mm}$	$L_w \geq 40 \text{ mm}$
L_w ile Etkin Dikiş (Boğaz) Kalınlığı (a) Arasındaki Bağlantı	$L_w \geq 6 \times a$	$L_w \geq 6 \times a$
Uç Kaynak Uzunluğu (L_{we}) Minimum Ve Maksimum Değerleri	$L_{we} \geq (0,75) \times b$ [Minimum] $L_{we} \geq (0,75) \times b_1$ [Minimum]	$L_{we} \geq b; b_1$ [Maksimum]

4.4. Aralıklı Süreksiz Metot Köşe Kaynaklarının Kaynak Dikişi Ara Boşlukları

Vinç endüstrisinde yassı ve yapısal hammadde malzemelerinin bir araya getirilmesi suretiyle yapma elemanlardan oluşan taşıyıcı vinç kiriş konstrüksiyonlarının dayanım ve rijitliğinin sabit tutulması koşuluyla en kesit parça birleşim proseslerinde yapının optimum üretilmesi maksadıyla kesintili olarak eşit aralıklı metot köşe kaynakları tercih edilmesi gerekliliği bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Bu doğrultuda EN 1993-1-8 standardına uygun olarak aralıklı metot köşe kaynaklarının ardışık veya atlamalı olarak dizilimleri Şekil 14'te tekli ve çiftli sıra konfigürasyonları halinde verilmiştir. Süreksiz aralıklı (metot) köşe kaynak dikişlerinin EN 1993-1-8: Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE) formülasyonlarıyla karşılaştırılarak Tablo 3'te analiz edilmiştir.



Şekil 14. Aralıklı Metot Köşe Kaynak Boşlukları (L1, L2), Dizimleri Ve Eksanrik Yerleşim Planı (Atak ve Şık, 2015)

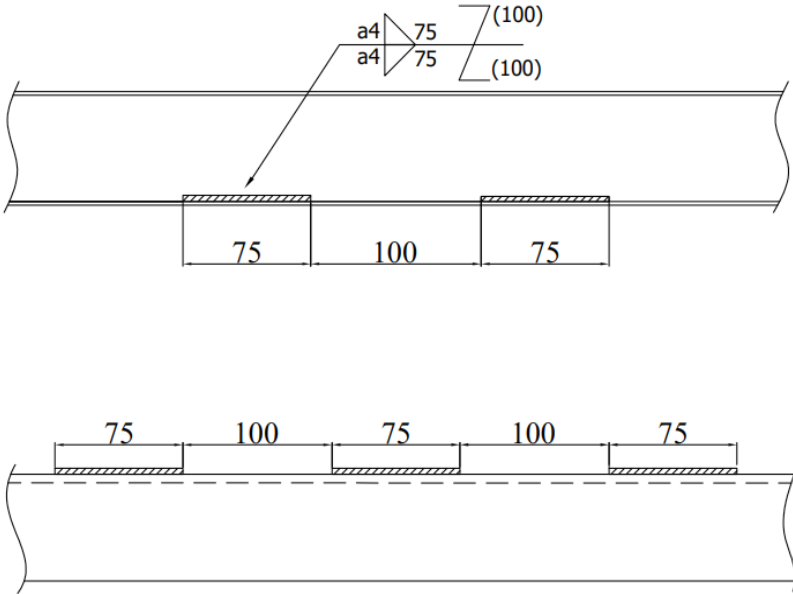
Tablo 3. Aralıklı (Metot) Köşe Kaynak Boşlukları (L1, L2) Karşılaştırma Tablosu (European Committee for Standardization, 2005; TÇY, 2016)

		EN 1993-1-8: Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE)
Çekme Etkisindeki Enkesitler Optimum Kaynak Boşluğu (L ₁)	Kuvveti Yapma İçin	$L_1 \leq 16 \times t$ [Minimum]	$L_1 \leq 14 \times t$ [Minimum]
		$L_1 \leq 16 \times t_1$ [Minimum]	$L_1 \leq 14 \times t_1$ [Minimum]
		$L_1 = 200$ mm	$L_1 = 200$ mm
Basma Veya Kesme Kuvveti Etkisindeki Yapma Enkesitler İçin Kaynak Boşluğu (L ₂)	Kuvveti Etkisindeki Yapma Enkesitler İçin	$L_2 \leq 12 \times t$ [Minimum]	$L_2 \leq 12 \times t$ [Minimum]
		$L_2 \leq 12 \times t_1$ [Minimum]	$L_2 \leq 12 \times t_1$ [Minimum]
		$L_2 \leq b/4$	$L_2 \leq (0,25) \times b$
		$L_2 = 200$ mm	$L_2 = 200$ mm

5. Vinç Sistemleri Taşıyıcı Kiriş Güçlendirme Takviyelerinde Optimum Metot Kaynaklı İmalat Uygulamaları

Vinç sistemlerinde kiriş çelik konstrüksiyonlarında; müşteri kuruluş isterleri doğrultusunda kaynaklı imalat proses parametreleri belirlenerek, üretim aşamalarında doğrudan uygulanması kaidesiyle kiriş yapısındaki güçlendirme takviyelerindeki (stiffener) kaynak dikişlerinin kiriş boyunca aralıksız (sürekli) kaynaklı birleşiminden dolayı çelik konstrüksiyonda istenmeyen ısıl deformasyon etkilerinin oluştuğu gözlemlenmiştir.

Söz konusu negatif etki altında (Bakınız Şekil 4) ısıl deformasyonlardan kaynaklanarak, vinç kirişlerinde yapısal hasarlar oluşmaktadır. Konstrüksiyonda oluşan bu deformasyonlar nedeniyle mevcut sistemde kirişler kullanılmayacak yapısal forma dönüşmüştür. Bu nedenle gerek müşteri kuruluş tarafından belirlenen kaynaklı imalat proses parametreleri sonucunda istenmeyen deformasyon oluşumları, gerekse SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat sonlu elemanlar analiz çıktıları sonucunda; vinç kirişlerinde ideal olan aralıklı (metot) kaynak yönteminin (Khedmati, Rastani ve Ghavami, 2007) ilgili standartlara ve terminolojiye uygun olarak uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Vinç kirişlerinde optimize edilen kaynaklı imalat parametrelerine ait ikincil jenerasyon köşe kaynak dikiş uzunlukları uygulama detayı Şekil 15'te verilmiştir.



Şekil 15. Vinç Sisteminde Hasara Uğrayarak Çarpılan Mevcut Taşıyıcı Kirişlerin, Yeniden Optimize Edilen Metot Kaynak Dikiş Uzunluk Parametreleri

Çalışma kapsamında incelenen mevcut çift gezer köprülü tavan vinç sistemi özelinde güçlendirme takviyelerinin (stiffener) kaynaklı imalat prosesleri özelinde standartlara uygun olarak yapılan araştırmalar doğrultusunda gerekli hesaplamalar yeniden yapılmıştır (Gintin ve Sitepu, 2015). Bu doğrultuda proje geliştirme sürecinde hali hazırdaki müşteri kuruluş tarafından belirtilen kaynak proses parametrelerinin yerine Şekil 15'te görüldüğü üzere optimum aralıklı metot köşe kaynağı dikiş uzunlukları yeniden hesaplanmış, ikincil jenerasyon yöntem kiriş imalat operasyonlarında doğrudan uygulanmıştır. Nihai olarak optimize edilen kaynaklı imalat proses parametreleri sonucunda yeniden üretilen vinç kirişlerinde ısı tesiri etkisi altında olası deformasyon, bozulma veya çarpılma hadisesi meydana gelmediği tespit edilmiştir. Kaynak çalışmaları ve ilgili standartlar analiz edilerek, kaynaklı imalat sürecinde başarılı sonuç alınmıştır.

Vinç köprü kirişi yan plakalarında burkulma (flambaj) etkisini minimuma indirmek amacıyla kaynaklı imalat süreci ile yapıya sabitlenen köşebentlerin (stiffener) yan taşıyıcı plakalar özelinde standartlara uygun olarak yeniden hesaplanan aralıklı metot köşe kaynak boşluklarının optimum dizilimleri ve lokal kaynak dikiş yerleşimlerine bağlı operasyonel kaynaklı imalat süreci Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Vinç Köprü Kirişi Yan Plakalarında Kaynaklı İmalat Prosesinde İdeal Aralıklı Metot Köşe Kaynağı Dizilimleri

6. Sonuçlar ve Öneriler

Endüstriyel uygulamalarda kaynaklı birleştirme yöntemlerinde en yaygın tercih

edilen köşe kaynağının detaylarıyla anlatılmasının yanı sıra kapsam genişliği nedeniyle tüm kaynak türlerinin incelenmesi mümkün olamamıştır. Diğer taraftan yine aralıklı metot köşe kaynaklı bağlantılar başta olmak üzere standartların ve ilgili yönetmeliklerin kullanımı bu çalışma yardımıyla daha efektif düzeye indirgenmiştir. Kaynaklı bağlantı ve birleştirmelerde hesap ve analiz yöntemleri gibi ileri seviye bilgilere erişilmesi için literatürde yer alan ilgili diğer standartlara ve akademik bilimsel çalışmalara doğrudan bakılması tavsiye edilmektedir.

Kaynaklı imalat operasyonel üretim süreçlerinde birçok kullanım alanı bulunan aralıklı (metot) köşe kaynağı başta olmak üzere; kaynaklı imalat özelinde mevcut ulusal ve uluslararası standartların, yönetmeliklerin ve mevzuatların ülkemizde kullanımına kolaylık sağlanması amacıyla bu çalışma kapsamında detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca bu çalışma özellikle çelik yapılar başta olmak üzere konstrüksiyonların köşe kaynaklı birleşim bağlantılarının optimizasyon parametrelerini içermesinin yanı sıra literatüre katkı sağlayacak diğer araştırmalar için ön çalışma niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında; yapı ve konstrüksiyonların aralıklı metot kaynaklı bağlantılarında EN 1993-1-8 ile ÇYTHYE'na göre köşe kaynak; etkin kaynak dikiş kalınlığı, efektif kaynak dikiş uzunlukları ve optimum metot kaynak boşlukları başta olmak üzere kaynaklı imalat proses parametreleri ve kaynaklı imalat tasarım değişkenleri detaylı olarak araştırılmış, irdelenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulara bakıldığında çelik yapılarda EN 1993-1-8 standardının doğrudan uygulanması halinde optimize edilen operasyonel kaynak süreçleri daha ekonomik, ülkemizde yaygın olarak çelik yapı hesaplamalarında kullanılan ÇYTHYE yönetmeliği tercih edilmesi durumunda ise daha emniyetli ve güvenli bir vinç konstrüksiyonu üretileceği tespit edilmiştir.

Kirişlerde çarpılma ve bozulma etkilerinin ekarte edilmesinin yanı sıra kalıntı gerilmelerinin minimize edilmesi hususunda yürütülen kaynaklı imalat sonlu elemanlar analiz çalışmalarında yapılan mühendislik hesaplamaları doğrultusunda vinç kirişlerinde S235JR malzemesi seçilmiştir. Vinç sistemlerine ait giriş çelik konstrüksiyonlarında bazı durumlarda müşteri kuruluşlar tarafından belirlenen kaynaklı imalat yöntemleri ve proses parametrelerinin üretim aşamalarında doğrudan uygulanması nedeniyle yapıdaki güçlendirme takviyelerindeki (stiffener) kaynak dikişlerinin giriş boyunca aralıksız (sürekli) yekpare kaynaklı birleşiminden dolayı üretimi gerçekleştirilen projelerde vinç kirişlerinde istenmeyen ısıl deformasyon etkisi oluşumları gözlemlenmiştir. Bu durum Şekil 17'de görüldüğü üzere mevcut vinç kirişlerinde yapısal hasara neden olan çarpılmalar, yüzey bozuklukları ve distorsiyon oluşumlarına neden olmaktadır. Isıl deformasyon etkisinden kaynaklanarak kutu kirişlerde oluşan bu hasarlardan dolayı vinç kirişleri kullanılamayacak yapısal formlara dönüşmektedir.



Şekil 17. Vinç Sistemlerindeki Güçlendirme Takviyesi (Stiffener) Aralıksız Sürekli (Soldaki Görsel) ve Aralıklı Metot Kaynağı (Sağdaki Görsel) Uygulanarak Kaynaklı Birleştirme Yapılan Vinç Kiriş Konstrüksiyon Detayı

Bu çalışma kapsamında yürütülen SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat analiz çalışmaları sonucunda müşteri kuruluş tarafından kaynaklı imalat parametreleri belirlenerek; güçlendirme takviyeleri ve güçlendirme plakaları özelinde geleneksel yöntemlere nazaran aralıksız sürekli kaynatılması sebebiyle kirişlerde çarpılma ve bozulmaların meydana geldiği imalat uygulamalarında gözlemlenmiştir. SYSWELD Visual Assembly gibi bilgisayar destekli kaynaklı imalat simülasyon programları yardımıyla kirişlerde ısıl deformasyon etkisi altında meydana gelebilecek çarpılma, bozulma ve kalıntı gerilme oluşumlarının üretim öncesinde tespit edilmesine imkan sunulurken, yine bu sayede hatalı parametre kullanımdan kaynaklı vinç kirişlerinin kullanılmayacak yapısal forma dönüşmeden öncesinde tespit edilebilmesi mümkün kılınmıştır.

Vinç kirişlerinde kaynaklı imalat operasyonlarında meydana gelebilecek istenmeyen çarpılma ve bozulma etkilerinin ekarte edilmesi maksadıyla kiriş konstrüksiyonunda yer alan güçlendirme takviyeleri (stiffener) kaynak dikişlerinde; kiriş boyunca istisnai özel durumlar haricinde Şekil 17’de görüldüğü üzere aralıklı metot kaynak yöntemi uygulaması gerekliliği bu çalışma kapsamında yürütülen SYSWELD Visual Assembly kaynaklı imalat sonlu elemanlar analiz çalışmaları sonucunda doğrulanmıştır.

Bu çalışmada vinç sistemlerindeki sadece kirişler özelinde Visual Assembly kaynaklı imalat sonlu elemanlar analizleri yürütülmüş; çarpılma davranışı, kalıntı gerilmelerinin değerleri ve yönelimleri, zamana bağlı sıcaklık dağılımları tespit

edilmiştir. Yapılan araştırmaların sonuçlarına dayanarak gelecek çalışmalarda vinç sistemlerinin tamamı için Visual Weld modülünde bilgisayar destekli kaynaklı imalat sonlu elemanlar analiz çalışmaları yürütülerek; çarpılma kontrolleri, kalıntı gerilmeleri ve zamana bağlı sıcaklık dağılımlarına ek olarak faz dağılımları ve dönüşümleri, plastik deformasyon uzama miktarının belirlenmesi planlanmaktadır.

Sonuç itibarıyla esneklik, verimlilik ve sürdürülebilirlik çerçevesinde; endüstri 4.0 ve yalın üretim bakış açısıyla kaynaklı imalat operasyonları sırasında, elastoplastik karakteristik davranış etkisi altında burkulma (flambaj) oluşum etkisi, kaynaklı imalat sırasında oluşan ısıl deformasyon kaynaklı distorsiyon ve kalıntı gerilmeleri oluşumlarının minimuma indirgenmesi amacıyla robotik otomasyon sistemlerinin (Li, Hong,, Gao ve Hong, 2020) vinç sektöründe kaynaklı imalat uygulamalarında doğrudan kullanılması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışma, araştırma ve yayın etiği kurallarına uygun olarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan tüm veriler doğru ve güvenilir kaynaklardan elde edilmiş olup, herhangi bir intihal veya izinsiz veri kullanımı söz konusu değildir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan ve desteklerini esirgemeyen BVS Bülbüloğlu Vinç Sanayi A.Ş.'ye teşekkürü borç biliriz. Ayrıca bu akademik eserin yazımı sırasında gerekli teknik desteği sağlayan BVS Bülbüloğlu Vinç Ar-Ge Merkezi (BVS CRANES R&D Center) teknik ekibine teşekkür ederiz.

Bu makalenin bir önceki versiyonu, 17-18 Kasım 2023 tarihleri arasında Makine Mühendisleri Odası tarafından düzenlenen 13.Ulusal Kaynak Teknolojisi Kongre'si "Kaynak Teknolojilerinde Tasarım ve Uygulama Örnekleri&Sektörel Çalışmalar" adlı IX.Oturumunda sunulmuş ve sektörel buluşturulmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

- Ameen, S. H. (2014). Numerical investigation of intermittent weld fillet in T-section structure–A comparison with continuous weld. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*, 17(2), 157-164. Erişim Adresi: <http://nahje.com/index.php/main/article/view/217/162>
- Atak, A., & Şık, A. (2015). Çelik yapı kaynaklı bağlantılarının EC3'e göre tasarım ve analiz yöntemi. *Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, 277-290. Erişim Adresi: <https://www.researchgate.net/publicati>

on/333038424_CELIK_YAPI_KAYNAKLI_BAGLANTILARININ_EC3%27E_GORE_TASARIM_VE_ANALIZ_YONTEMI

AWS. (1978). *Structural welding code-steel*. Mar Lin.

Bate, S. K., Charles, R., & Warren, A. (2009). Finite element analysis of a single bead-on-plate specimen using SYSWELD. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 86(1), 73-78. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2008.11.002>

DIN EN 1993-1-8. (2010). Çelik yapıların tasarımı; birleşim yerlerinin bağlantıların tasarımı, Almanya.

ESI Group. (2010). *Weld distortion and weld quality simulation: Benefits, capabilities and products*. SYSWELD Toolbox.

European Committee for Standardization. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.1 General rules and rules for buildings*.

European Committee for Standardization. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints*.

European Committee for Standardization. (2005). *Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting*.

Ginting, R. L., & Sitepu, G. (2019). Structure's strength induced by intermittent welding. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 5(2), 147-154. Erişim Adresi: <http://ojs.unimal.ac.id/ijesa/article/view/1541>

Jian, X., Liu, H., Zhao, Z., Wu, X., Lei, M., & Chen, Z. (2021). A study of the mechanical behavior of rectangular steel tubular column strengthened using intermittent welding angle steel. *Structures*, 33, 3298-3310. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.090>

Khedmati, M. R., Rastani, M., & Ghavami, K. (2007). Numerical study on the permissible gap of intermittent fillet welds of longitudinally stiffened plates under in-plane axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(10), 1415-1428. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2007.01.020>

KK, S., & MJ, J. (2022). Application of Sysweld software in finding weld residual stress: A review. *In Proceedings of the International Conference on Systems, Energy and Environment*.

Kollár, D. (2023). Numerical modelling on the influence of repair welding during manufacturing on residual stresses and distortions of T-joints. *Results in Engineering*, 20, 101535. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101535>

Li, G., Hong, Y., Gao, J., Hong, B., & Li, X. (2020). Welding seam trajectory recogniti-

on for automated skip welding guidance of a spatially intermittent welding seam based on laser vision sensor. *Sensors*, 20(13), 3657. Doi: <https://doi.org/10.3390/s20133657>

- Lima, T. R., Tavares, S. M., & De Castro, P. M. (2017). Residual stress field and distortions resulting from welding processes: Numerical modelling using Sysweld. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 29(1), e56-e61. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2016.11.002>
- Liu, R., Sun, Y., & Ni, J. (2023). Prediction of distortion in a thin-plate structure with intermittent fillet joints using a local-to-global approach. *Journal of Manufacturing Processes*, 99, 718-734. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.05.020>
- Ramos, H. M. E., Tavares, S. M. O., & de Castro, P. M. S. T. (2018). Numerical modelling of welded T-joint configurations using SYSWELD. *Science and Technology of Materials*, 30, 6-15. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.stmat.2018.11.002>
- TÇY. (2016). *Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara. Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/02/20160203-5.htm>
- Xu, J. J., Gilles, P., Duan, Y. G., & Yu, C. (2012). Temperature and residual stress simulations of the NeT single-bead-on-plate specimen using SYSWELD. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 99, 51-60. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2012.10.002>