



**YÜK VAGONLARINDA KULLANILACAK
OTOMATİK KUPLÖRÜN YERLİ İMKANLARLA
ÜRETİLEBİLİRLİK ANALİZİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Yalgın KAHRAMAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**YÜK VAGONLARINDA KULLANILACAK OTOMATİK KUPLÖRÜN
YERLİ İMKANLARLA ÜRETİLEBİLİRLİK ANALİZİ**

Yalgın KAHRAMAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Mustafa YAŞAR**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2024**

Yalgın KAHRAMAN tarafından hazırlanan “YÜK VAGONLARINDA KULLANILACAK OTOMATİK KUPLÖRÜN YERLİ İMKANLARLA ÜRETİLEBİLİRLİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Anabilim Dalınız Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 11/07/2024

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa YAŞAR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Harun ÇUĞ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Muhammet Hüseyin ÇETİN (KTÜN)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Yalgın KAHRAMAN

ÖZET

Yüksel Lisans

YÜK VAGONLARINDA KULLANILACAK OTOMATİK KUPLÖRÜN YERLİ İMKANLARLA ÜRETİLEBİLİRLİK ANALİZİ

Yalğın KAHRAMAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mustafa YAŞAR

Temmuz 2024, 66 sayfa

Bu çalışmada, yük vagonları için otomatik kuplör tasarımı ve üretiminin yerli imkanlarla gerçekleştirilebilme potansiyelini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Türkiye'nin mevcut altyapı ve tesislerini göz önünde bulundurarak, ulusal AR-GE destek programlarına başvurulara uygun bir fizibilite projesi olarak tasarlanmıştır. Araştırma süreci, teknik analizler ve yerli üretim kapasitesinin değerlendirilmesi adımlarını içermektedir. Ayrıca, dijital otomatik kuplör pazar büyüklüğü ve rekabet edebilirlik analizi yapılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, Türkiye'nin mevcut altyapısı ve yerli üretim kapasitesi, otomatik kuplör tasarımı ve üretimi için uygun bir temel sunmaktadır. Dijital otomatik kuplörlerin pazar büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda, doğru bir fizibilite analizi ile projelendirilen ürünlerin rekabet edebilirliği artmaktadır. Yerli imkanlarla

üretilecek ve TSI belgesine sahip ürünlerin geliştirilmesi, Türkiye demiryolu sektörü için önemli faydalar sağlayacaktır.

Bu çalışma, yerli ve milli çözümlerle demiryolu sistemlerinin etkinliğinin ve güvenliğinin artırılabilirliğini göstermektedir. Araştırmanın sonuçları, Türkiye'nin demiryolu teknolojilerinde dünya standartlarında bir oyuncu olma yolundaki stratejik hedeflerine katkıda bulunacak niteliktedir. Bu bağlamda, uygun AR-GE desteklerinin alınması ve yerlilik oranı yüksek ürünlerin geliştirilmesi önerilmektedir. Böylelikle, sektördeki bağımlılık azalacak ve Türkiye, demiryolu teknolojilerinde daha bağımsız ve güçlü bir konuma gelecektir.

Anahtar Sözcükler : Üretim teknolojileri, Fizibilite, Proje yönetimi, Raylı sistemler.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

Master Thesis

MANUFACTURABILITY ANALYSIS OF AUTOMATIC COUPLER TO BE USED IN FREIGHT WAGONS WITH DOMESTIC FACILITIES

Yalçın KAHRAMAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of
Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:
Prof. Dr Mustafa YAŞAR
July 2024, 66 pages**

In this study was conducted to evaluate the potential for designing and producing automatic couplers for freight wagons with local resources. The study was designed as a feasibility project suitable for applications to national R&D support programs, considering Türkiye's existing infrastructure and facilities. The research process includes steps such as technical analyses and the evaluation of local production capacity. Additionally, a market size and competitiveness analysis of digital automatic couplers was conducted.

According to the research results, Türkiye's existing infrastructure and local production capacity provide a suitable basis for the design and production of automatic couplers. Considering the market size of digital automatic couplers, products projected with a proper feasibility analysis increase their competitiveness. Developing products

that will be produced with local resources and have TSI certification will provide significant benefits for the Turkish railway sector.

This study shows that efficiency and safety in railway systems can be increased with local and national solutions. The results of the research contribute to Turkiye's strategic goals of becoming a global player in railway technologies. In this context, it is recommended to obtain appropriate R&D support and develop products with a high rate of local content. Thus, dependency in the sector will decrease, and Turkiye will achieve a more independent and stronger position in railway technologies.

Key Word : Production technologies, Feasibility, Project management, Rail systems.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu süreci benimle birlikte yaşayan ve bana her zaman destek olan sevgili eőime, sabrı, anlayıőı ve teşviki için en içten teőekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca maddi ve manevi her konuda, yardımlarını esirgmeden yanımda oldukları için aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Danıőman hocam Prof. Dr. Mustafa YAŞAR'a, bana verdiği değerli rehberlik ve sabrı için minnettarım.

Bu süreçte bana sürekli moral veren sevgili arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Bu tezi, maalesef aramızdan çok erken yaőta ayrılan sevgili hocam Dr. Cihan MIZRAK'a ithaf ediyorum. Kendisini saygı, sevgi ve rahmetle anıyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ivi
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	3
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Demiryolu Tarihçesi.....	3
2.2. Demiryolu Kuplör Teknolojisi.....	5
2.3. Dünya Çapında Demiryolu Yük Trafiğindeki Kuplör	9
2.4. Dünya Üzerinde Yaygın Kuplör Çeşitleri.....	11
2.4.1. Kanca Kavramalı Kuplör Tertibatı.....	11
2.4.2. Janney Kuplör Tertibatı.....	16
2.4.3. SA3 Kuplör Tertibatı.....	19
2.4.4. Scharfenberg Kuplör Tertibatı	22
BÖLÜM 3	26
3. PROJENİN TANIMI.....	26
3.1. Avrupa Dijital Otomatik Kuplör Projesinin Geliştirilmesi	27
3.2. Türkiye’de Mevcut Durumun Değerlendirilmesi.....	28
3.3. Otomatik Kuplör Üretim Teknolojisi.....	29

3.3.1.	Mühendislik Tasarımı	29
3.3.2.	Döküm Teknolojisi	31
3.3.3.	Dövme Teknolojisi.....	31
3.3.4.	Talaşlı İmalat Teknolojisi	32
3.3.5.	Kaynaklı İmalat Teknolojisi.....	33
3.4.	Dijital Otomatik Kuplör Birleşenleri	34
3.4.1.	Mekanik Bağlantılar.....	35
3.4.1.1	Mekanik Bağlantı Kafası.....	35
3.4.1.2	Kilit Mekanizması.....	36
3.4.1.3	Ayırma Mekanizması.....	36
3.4.2.	Şok Emici Bileşenler.....	37
3.4.2.1	Şok Koruma Silindiri	37
3.4.2.2	Çekme ve İtme Mekanizması.....	38
3.4.2.3	Kuplör Merkezleme Mekanizması.....	38
3.4.3.	Elektrik Bağlantı Bileşenleri.....	38
3.4.3.1	Elektrikli Kuplör Başlığı.....	38
3.4.3.2	Elektrik Pimleri	39
3.4.3.3	Elektrikli Lineer Aktüatör	39
3.4.3.4	Elektrikli Kuplör Isıtıcısı.....	40
3.4.3.5	Ethernet Bağlantı Mekanizması Hattı	40
3.4.4.	Pnömatik Bağlantı Bileşenleri.....	40
BÖLÜM 4		41
4.	YAPILABİLİRLİK ANALİZİ	41
4.1.	Pazar Analizi	41
4.2.	Ekonomik Fayda Analizi.....	44
4.3.	Devlet Desteklerinin Değerlendirilmesi.....	49
4.3.1.	Ulusal Teşvik ve Hibe Programları.....	49
4.3.1.1	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı.....	50
4.3.1.2	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.....	50
4.3.1.3	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kümelenme Destek Programı ..	51
4.3.1.4	Uygun Olan Destek Programının Değerlendirilmesi	52

4.4.	Teknik Analiz.....	53
4.4.1.	Kuruluşun Projede Rolü: Sistem Tasarımcısı ve Entegratörü.....	54
4.4.2.	Kuruluşun Projede Rolü: Analiz – Simülasyon -Test Sistemlerinin İmalatı	54
4.4.3.	Kuruluşun Projede Rolü: Döküm İmalatçısı	55
4.4.4.	Kuruluşun Projede Rolü: Dövme İmalatçısı	55
4.4.5.	Kuruluşun Projede Rolü: Elektronik Birleşenler	56
4.5.	Proje Yönetimi Ve Uygulama Programı	57
4.6.	Maliyet Analizi.....	62
BÖLÜM 5		64
5.	SONUÇLAR.....	64
KAYNAKLAR		65
ÖZGEÇMİŞ		69

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Rijit olmayan (sol) ve rijit (sağ) kuplör bağlantı tipleri.....	7
Şekil 2.2. Demiryolu yük taşımacılığında otomatik kuplörlerin dünya çapında dağıtım	11
Şekil 2.3. Kanca kavramalı kuplör tertibatı.	12
Şekil 2.4. Kanca kavramalı kuplör tertibatı şeması.....	12
Şekil 2.5. Kanca kavramalı kuplör tertibatı bağlantısı.	13
Şekil 2.6. Kanca kavramalı kuplör tertibatıün amortisör ve kanca tertibatı.....	14
Şekil 2.7. Kanca kavramalı kuplör tertibatın gerdirme mekanizması.	14
Şekil 2.8. Keskin ters virajlarda birbirinin üzerinden kayarak kilitlenen vagon.....	15
Şekil 2.9. Janney kuplörü.	16
Şekil 2.10. Janney bağlantısının temel çalışması.....	18
Şekil 2.11. Seyir halinde janney kuplörü	18
Şekil 2.12. SA3 kuplörü	20
Şekil 2.13. SA3 kuplör bağlantı evreleri.....	21
Şekil 2.14. Scharfenberg kuplörü.....	23
Şekil 2.15.Yüksek hızlı trenler için uygulanmış Scharfenberg kuplör karakteristik yapısı.....	23
Şekil 2.16. Scharfenberg kuplörü ile bağlantısı sağlanmış iki raylı sistemler aracı ..	24
Şekil 2.17. Scharfenberg kuplör bağlantı evreleri.....	25
Şekil 3.1. Türkiye üzerinden geçen uluslararası demiryolu koridorları.....	29
Şekil 3.2. Yük vagonu için uyarlanmış scharfenberg kuplörü patlatılmış görüntüsü	34
Şekil 3.3. Scharfenberg kuplörü mekanik bağlantı kafası	35
Şekil 3.4. Scharfenberg kuplörü kilit mekanizması	36
Şekil 3.5. Kuplör sok emici bileşenleri	37
Şekil 3.6. Elektrik bağlantı başlığı	39
Şekil 3.7. Kuplör elektrik pimleri	39
Şekil 4.1. Tasarım ve analiz süreçleri	58
Şekil 4.2. Prototip süreçleri.	58
Şekil 4.3. Ulusal dijital otomatik kuplor test laboratuvarı.	59
Şekil 4.4.Saha testleri.	61
Şekil 4.5. Prototip üretimin yol haritası.	61

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Ulusal teşvik ve hibe programları kıyas tablosu.....	53
Tablo 4.2. Maliyet tablosu	63

KISALTMALAR DİZİNİ

AAR	: Association of American Railroads (Amerikan Demiryolu Birliği)
AB	: Avrupa Birliği
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
DAC	: Digital Automatic Coupling (Dijital Otomatik Kuplör)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
GCU	: General Contract of Use for Wagons (Vagonlar için Genel Kullanım Sözleşmesi)
KOBİ	: Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KOSGEB	: Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
OK	: Otomatik kuplör
OSJD	: Organization for Co-operation of Railways (Demiryolları İşbirliği Örgütü)
RIV	: Regolamento Internazionale Veicoli (Yük Vagonlarının Kullanımına İlişkin Genel Sözleşme)
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEYDEB	: Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı
TIS	: Innovation Circle for Rail Freight Transport (Demiryolu Yük Taşımacılığı İçin İnovasyon Çemberi)
TSI	: Technical Specifications for Interoperability (Birlikte Çalışabilirlik için Teknik Spesifikasyonları)
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UAB	: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
UIC	: International Union of Railways (Uluslararası Demiryolu Birliği)

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Demiryolu taşımacılığı, ekonomik ve çevresel avantajları nedeniyle dünya genelinde en çok tercih edilen yük taşımacılığı yöntemlerinden biridir. Türkiye'nin coğrafi konumu ve ticaret yollarının kesişim noktasında bulunması, demiryolu taşımacılığının önemini daha da artırmaktadır. Bu bağlamda, demiryolu sistemlerinin etkinliği ve güvenliği, ulusal ve uluslararası ticaretin sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Demiryolu taşımacılığının verimliliğini artırmak ve güvenliğini sağlamak için, teknolojik yeniliklerin entegrasyonu büyük bir gereklilik haline gelmiştir. Bu yeniliklerden biri olan dijital otomatik kuplör sistemleri, yük vagonlarının otomatik ve güvenli bir şekilde bağlanmasını sağlayarak operasyonel verimliliği ve güvenliği önemli ölçüde artırmaktadır. Geleneksel manuel kuplör sistemlerine kıyasla daha hızlı, daha güvenli ve daha az iş gücü gerektiren bu sistemler, modern demiryolu taşımacılığının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de yük vagonları için dijital otomatik kuplör tasarımı ve üretiminin yerli imkanlarla yapılabilirliğini analiz etmektir. Yerli üretim, ülkemizin dışa bağımlılığını azaltırken, aynı zamanda yerel sanayinin gelişimine ve ekonomiye katkı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, mevcut teknolojik altyapı, üretim kapasitesi ve maliyet analizleri yapılacak; yerli üretimin avantajları ve zorlukları değerlendirilecektir. Ayrıca, uluslararası standartlar ve TSI belgeleri dikkate alınarak, ürünlerin rekabet edebilirliği üzerinde durulacaktır.

Bu tez çalışması, Türkiye'nin demiryolu taşımacılığı sektöründe teknolojik ilerlemelere öncülük etme potansiyelini ortaya koymayı ve yerli sanayinin güçlenmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir. Sonuç olarak, dijital otomatik

kuplör sistemlerinin yerli imkanlarla üretilebilirliği üzerine yapılacak bu analiz, Türkiye'nin demiryolu teknolojilerinde dünya çapında rekabet edebilirliğini artırma yolunda önemli bir adım olacaktır.

BÖLÜM 2

2. GENEL BİLGİLER

2.1. DEMİRYOLU TARİHÇESİ

Demiryolları, insanlık tarihinin en önemli ulaşım devrimlerinden biridir. Demir yolları, taşıtların lastik tekerlekli karayolu taşıtlarına kıyasla daha düşük sürtünme direnciyle karşılaştığı bir sistemdir. Bu, demiryolu taşıtlarının daha düşük enerji tüketimine ve daha yüksek hızlara ulaşmasına olanak tanır. Sürtünme direncinin azalmasıyla, demiryolu taşıtları daha verimli bir şekilde enerjiyi dönüştürebilir ve daha az miktarda enerji tüketirler. Bu da çevresel etkileri azaltırken, ulaşım maliyetini düşürür ve daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemine olanak tanır. Bu nedenle, demiryolu taşımacılığı, geniş bir yelpazede, ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağlayarak modern toplumların temel taşıyıcılarından biri haline gelmiştir.

Demiryolu kavramı ilk olarak 16. yüzyılda Avrupa'da ortaya çıktı. İlk başlarda madencilik alanında kullanılan bu yollar, ahşap raylar ve atlarla çekilen vagonlardan oluşuyordu. Bu şekilde ilk kullanılması 1550'lerde Fransa'daki Alsace maden ocaklarında gerçekleşmiştir. Bu dönemde raylar tahtadandı [1].

Ancak, zamanla bu yolların taşımacılık ve ticaret için ne kadar etkili olduğu anlaşıldı. İlk kamu demiryolu olan Stockton & Darlington, 1825'te kömür taşımacılığı için, ikincisi ise Liverpool & Manchester Demiryolu ise 1830'da esas olarak yolcu taşımacılığı için açıldı [2].

Sanayi Devrimi ile birlikte demiryolları büyük bir hızla yayıldı. Özellikle İngiltere, Fransa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde demiryolu ağları hızla genişledi. Demiryolları hem sanayinin hem de şehirlerin gelişimine büyük katkı sağladı. 19. yüzyılın ortalarından itibaren, demiryolları dünya genelinde yaygınlaştı. Teknolojik

İlerlemelerle birlikte, demiryolu taşımacılığı daha güvenli ve hızlı hale geldi. Demiryolu ağları, kıtalararası bağlantılar kurarak ticaretin ve seyahatin kolaylaşmasını sağladı. 20. yüzyılın başlarında, demiryolları daha da modernleşti. Elektrikli trenlerin geliştirilmesi, buhar trenlerine kıyasla daha verimli ve çevre dostu bir seçenek sundu.

1895 yılında dünyada elektrikli olan ilk demiryolu Almanya'nın Berlin kentindeki Gross-Lichterfelde Tramvayıydı. Bunu, 1895-96'da Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Baltimore ve Ohio Demiryolları'nın Baltimore Kuşak Hattı'nın, ilk elektrikli ana hat demiryolunun elektrifikasyonu izledi [3].

Daha yüksek hızlar ve daha düşük işletme maliyetleri ile demiryolları, 20. yüzyılın ortalarına kadar dünyanın en popüler ulaşım yöntemi haline geldi.

1964 yılında Japonya'daki Tokaido Shinkansen yüksek hızlı demiryolu, küresel bir yüksek hızlı demiryolu patlamasının sinyalini verdi [4]. Bu gelişme, demiryolu taşımacılığında yeni bir dönemi başlattı. Günümüzde, birçok ülke yüksek hızlı tren hatlarına sahiptir.

Türkiye'de demiryolu tarihi, Osmanlı İmparatorluğu dönemine kadar uzanır. Osmanlı Devleti'nin Anadolu toprakları üzerinde yaptığı ilk demiryolu imtiyazı 1856 yılında İzmir-Aydın, Rumeli toprakları üzerinde yaptığı ilk demiryolu imtiyazı ise 1857 yılında Köstence-Çemavoda (Boğazköy) hattıdır [1].

Cumhuriyet döneminde ise demiryolu ağı hızla genişlemiş ve modernleşmiştir. 2022 verilerine göre Türkiye'de 4.784 kilometresi elektrikli olmak üzere 11.668 kilometre konvansiyonel, 219 kilometre hızlı, 1.241 kilometre ise yüksek hızlı demiryolu hattı bulunmaktadır [5].

Gelişen teknolojiler, demiryolu sektöründe daha verimli operasyon şartlarının gelişimini hızlandırmaktadır. Bu gelişmeler, enerji verimliliği ve yeşil dönüşüm regülasyonları gibi zorunluluklarla birleştiğinde, demiryolu taşımacılığının ekonomik kalkınma göstergelerine olumlu etkileri olacaktır. Enerji verimliliği sağlayan yeni

teknolojiler, demiryolu işletmelerinin maliyetlerini düşürürken, çevreye verdiği olumsuz etkilerini azaltarak sürdürülebilirliklerini artırır. Aynı zamanda, yeşil dönüşüm regülasyonlarıyla birlikte uygulanan çevresel standartlar, demiryolu sektörünün daha temiz ve daha çevreci bir taşımacılık seçeneği olarak kabul edilmesine katkı sağlar.

2.2. DEMİRYOLU KUPLÖR TEKNOLOJİSİ

Kuplör, bir demiryolu aracının her iki ucunda bulunan ve bunları bir tren oluşturacak şekilde birbirine bağlayan mekanizmadır. Hareket boyunca dağıtılan çekiş ve frenleme kuvvetleriyle vagonları mekanik, elektriksel ve pnömatik olarak birbirine bağlar [6].

Bu mekanizma, aradaki gerilme ve sıkıştırma kuvvetlerini ileterek, darbe yüklerini absorbe eder ve trenlerin güvenli bir şekilde hareket edebilmesi için gerekli dönüş açlarına izin verir. Bir vagon, tekerleklerin aşınması veya hareket halindeki salınımlar nedeniyle ile farklı bağlantı yüksekliklerine sahip olabilir. Bu nedenle kuplör dikey ve yatay yer değiştirme olasılığına güvenlik sınırları içinde izin vermesi gerekmektedir. Tren dizisinin vagon sayısı, operasyon süresinin uzunluğu ve trenin güvenli bir şekilde hareketinin sağlanması gibi faktörlere doğrudan etki etmesiyle kuplörler demiryolu taşımacılığında kritik bir bağlantıdır.

Demiryolu tarihi boyunca, güç, güvenilirlik, verimli kullanım ve operatör güvenliği gibi tasarım hususlarına odaklanılarak çeşitli kuplör tasarımları geliştirilmiştir. Bu tasarımlar temelde ise 3 farklı tip (manuel, yarı otomatik, otomatik) kuplör etrafında şekillenmiştir [7].

Bu farklı tipler, kullanım kolaylığı, hızlı bağlantı ve otomasyon seviyeleri gibi özellikler bakımından farklı avantajlara sahiptir. Manuel kuplörler operatörün müdahalesini gerektirirken, otomatik kuplörler tam otomasyonla çalışır. Bu operasyon hızını artırırken operatör güvenliğini de sağlar. Yarı otomatik kuplörler ise operatörün müdahalesini azaltırken bir dereceye kadar kontrol sağlar. Bu sistemlerde ise vagonlar arasındaki mekanik bağlantı, otomatik olarak gerçekleştirilir ancak çözme işlemi

manuel olarak yapılır. Bu farklılıklar, demiryolu taşımacılığının ihtiyaçlarına ve kullanım senaryolarına göre tercih edilen kuplör tipini belirlemeye yardımcı olur.

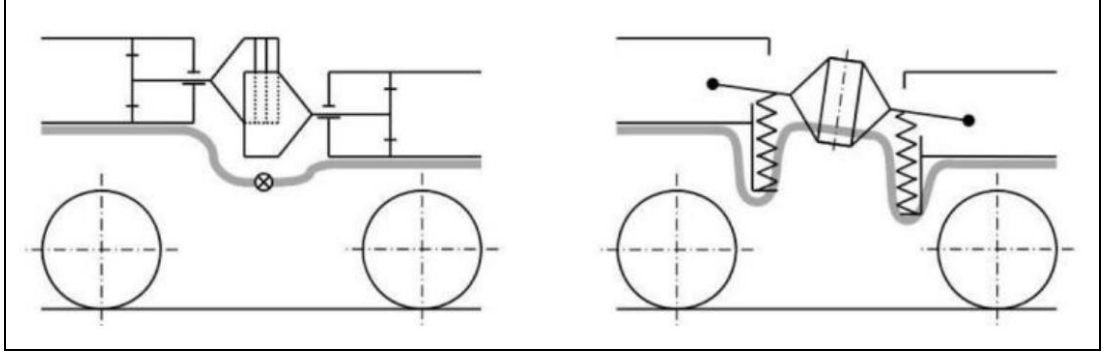
Manuel çalışma, demiryolu personeli tarafından araçların manuel olarak bağlanması işlemidir. Bu nedenle manuel kuplörler de bağlantı için gerekli olan ağırlık ve gerginlik kapasitesi insan kapasitesi ile sınırlıdır.

Tam Otomatik çalışma, manevra sahasında vagonların birbirine çarptırılarak (5 km/saat) hareket ettirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu çarpışma otomatik kuplör yüzeylerinin özel şekli sayesinde kuplörlerin doğru konumda kilitlenmesini sağlar ve böylece vagonların güvenli bir şekilde birbirine bağlanmasını ve trenin sorunsuz bir şekilde hareket etmesini sağlar. Bu işlem ile mekanik kilitlemenin yanında fren ve veri hatlarının bağlantısı da sağlanmış olur. Otomatik bir kuplör düzeneğinde ayrılma işlemi sürücü kabininden uzaktan kumandayla otomatik olarak veya yol kenarından manuel olarak yapılabilir.

Otomatik kuplörlerin vagonların hareket eksenleri boyunca iki vagon arasındaki yükseklik farkının telafi edilmesi açısından iki temel varyantı bulunmaktadır. Basit olan varyant, bağlantı kafalarının yüksekliği açısından rijit olmayan versiyondur. Bu tasarımın örnekleri, Janney veya Willison kuplörlerinin standart versiyonlarını içerir. İki vagon arasındaki yükseklik farkı, vagonların bağlantı kafaları arasında dikey bir deplasmana neden olur. (Şekil 2.1.). Ancak bu deplasman, üzerine monte edildiği vagonun hareket eksenine yükseklik açısından paraleldir. Bu prensibin avantajları, yay damper rulmanı için basit tasarım ve düşük maliyetli üretim süreçleridir. Ancak, hareket halindeyken rulmanlarda önemli aşınma ve otomasyon açısından büyük zorluklar gibi dezavantajları vardır. Bu da rijit olmayan otomatik kuplörlerin dijital otomatik kuplörler de kullanımı için uygun olmadığı anlamına gelir.

Rijit bağlantıda ise vagonlar arasındaki yükseklik farkı, bağlantının hareket ekseninin arasındaki açı ayarı ile telafi edilir (Şekil 2.1.). Dolayısıyla bağlantının hareket eksenleri ile aracın hareket eksenleri birbirine paralel değildir ve rijit olmayan varyantta olduğu gibi bağlantının yatay düzlemleri arasında bir ofset yoktur. Rijit çözümün önemli bir avantajı, bağlantı kafaları arasında minimal hareketin (sürtünme)

olmasıdır, bu da düşük aşınma ve net tanımlı göreceli konumlar sağlar. Bu sistem, gerekli hatların otomatik olarak bağlanmasına izin verir. Rijit otomatik kuplörlerin tasarım örnekleri UIC/OSSHD bağlantıları, AK69, Intermat ve Scharfenberg kuplörleridir.



Şekil 2.1. Rijit olmayan (sol) ve rijit (sağ) kuplör bağlantı tipleri [8].

Modern versiyonlar yalnızca mekanik bir bağlantı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda fren sistemi, veri ve elektrik akışı elde etmek için özel başlıklarla donatılmıştır. Bu nedenle Innovation Circle for Rail Freight Transport (TIS), geleneksel sınıflandırma sisteminin sadece mekanik bağlantı otomasyonunu dikkate almasından dolayı yeni bir sınıflandırma sistemine geçmeye karar verdi. TIS, otomatik kuplörler için Tip 1'den Tip 5'e kadar beş farklı otomasyon seviyesi tanımladı. Bu seviyeler, mekanik bağlantının otomatikleştirilmesinden elektrik güç hatlarının, veri hatlarının ve diğer iletişim hatlarının otomatik bağlantısına kadar çeşitli otomasyon düzeylerini kapsamaktadır. Bu yeni sınıflandırma sistemi, demiryolu taşımacılığının teknik gereksinimlerini daha kapsamlı bir şekilde ele almak ve farklı otomasyon seviyelerine sahip olan sistemleri daha iyi tanımlamak için tasarlanmıştır. Bu sayede, demiryolu taşımacılığında güvenlik, verimlilik ve teknolojik yeniliklerin daha etkili bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır.

Otomatik kuplörler de Tip 1, mekanik bağlantının otomatik olmasını içerir, diğer gerekli bağlantılar ise maneldir. Bu nedenle yarı otomatik bir bağlantıdır. OK Tip 2'de ayrıca ana fren borusunun otomatik bağlantısını sağlar. OK Tip 3'de elektrik güç hatlarının otomatik bağlantısını içerir. OK Tip 4'de ise veri hatlarının otomatik bağlantısını sağlar. Dijital otomatik kuplör olarak tanımlanabilmesi için bir otomatik

kuplörünün en az Tip 4 olması gerekmektedir. Çünkü yalnızca bu tipler güç ve veri hatlarının otomatik bağlantısını sunar. Geleneksel sınıflandırmaya göre, Tip 1'den Tip 4'e kadar olanlar yarı otomatik kuplörlerdir, Tip 5 ise tam otomatik bir kuplördür ve Dijital otomatik kuplör Tip 5, tam otomatik bağlantı ve çözme sağlar [9].

Otomatik bağlantının temel bileşenleri altı ana montajdan oluşur:

Bağlantı gövdesi: Bağlantı kafası, bağlantı mili ve bağlantı mafsalını içerir, bu nedenle sistemin merkezini oluşturur.

Kilit mekanizması: Bağlantı kafasını partner bağlantısıyla mümkün olduğunca yakın bir şekilde bağlar. Serbest bırakmak için ayırma düğmesi bulunur.

Aktüatör: Kilit mekanizmasını etkinleştiren mekanizmadır.

Destek gövde: Vagon gövdesine bağlanır. Bağlantı gövdesini dikey yönde yönlendirmek için gereklidir. Farklı tasarımlara sahip olabilir.

Yay damperi: Yay damperi, trenin kalkış, frenleme ve seyahat sırasındaki uzunlamasına reaksiyonları en aza indirme görevine sahiptir. Ayrıca, diğer vagonlardan gelen darbeleri absorbe etmeye yardımcı olur.

Hat bağlantısı: Hava, elektrik ve veri gibi iletişim hatlarını içerir.

Kuplörler, genel olarak aşağıdaki işlevleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır:

- Vagonları lokomotiflere bağlar ve aralarında belli bir mesafeyi korur. Bu bağlantı, trenin hareketi ve manevraları sırasında çekme ve sıkıştırma kuvvetlerini alır, iletir ve yumuşatır.
- Fren sistemi için gerekli pnömatik ihtiyacı, veri akışını (kapı kontrolleri, fren durumu vb.) ve elektrik bağlantılarını sağlar.
- Sürüş akıcılığını ve yolcu konforunu artırmak için tasarlanmıştır. Ayrıca, kaza durumunda vagonların üst üste yığılmasını önlemek amacıyla tren hareketi sırasında vagonların yer değiştirmesini sınırlandırır.

Bu işlevler, demiryolu taşımacılığında güvenli ve verimli bir işleyişin sağlanması için kritik öneme sahiptir. Kuplörlerin doğru şekilde tasarlanması ve işlevlerini yerine getirebilmesi, demiryolu endüstrisinde önemli bir araştırma ve geliştirme alanı olarak kabul edilmektedir.

2.3. DÜNYA ÇAPINDA DEMİRYOLU YÜK TRAFİĞİNDEKİ KUPLÖR

Ülkeler, kendi tercihlerine ve yakın coğrafyasında yer alan ülkelerin etkisine göre çeşitli türde kuplörler kullanmaktadır. Örneğin, Kuzey Amerika demiryolları ve Çin, "Janney" tipi kuplörleri tercih ederken, eski Sovyetler Birliği coğrafyasındaki ülkeler genellikle "SA3" kuplörünü kullanmıştır. Avrupa ülkeleri ise genellikle kanca kavramalı kuplör tertibatı tercih etmektedir [10].

ABD'de 1893 ile 1900 yılları arasında manuel kuplör yerine Janney kuplörüne geçişi tamamlanmıştır. Japonya'da ise otomatik bir kuplöre (Janney) geçişi 1925 yılında birkaç gün içinde gerçekleşmiştir [8].

1920'lerin sonlarına doğru, UIC yük demiryollarının verimliliğini önemli ölçüde kısıtlayan kanca kavramalı kuplör tertibatının değiştirilmesi için bir çalışma grubu oluşturdu. Birçok farklı kuplör prototipi üzerinde çalışmalar yapıldı, ancak UIC üyeleri tek bir tip üzerinde anlaşma sağlayamadı. [11].

Rusya, Kuzey Amerika'da kullanılan Janney kuplörüne benzer yarı otomatik bir tasarım istemekteydi. Ruslar, Willison kuplörünü temel alarak 1932 yılında SA3 kuplörünü geliştirdi ve bu kuplörü Rus demiryolu sistemlerinde standart hale getirdi. Konsept 1932'de kararlaştırıldıktan sonra araçların kademeli dönüşümü 1935'te başladı. Ancak, İkinci Dünya Savaşı'nın bu süreci geciktirmesi nedeniyle geçiş süreci 1957'ye kadar tamamlanamadı [8].

1978 yılında SA3 bağlayıcıların mekanik tasarımına dayalı olarak, UIC ve OSJD demiryollarının verimliliğini artırmak amacıyla ortak bir kuplör geliştirilmesine tekrar başlandı [12]. Sonuç olarak tamamen test edilmiş ve üretime hazır Unicoupler tasarımı ortaya çıktı. Fakat ticari bir uygulamaya geçemedi.

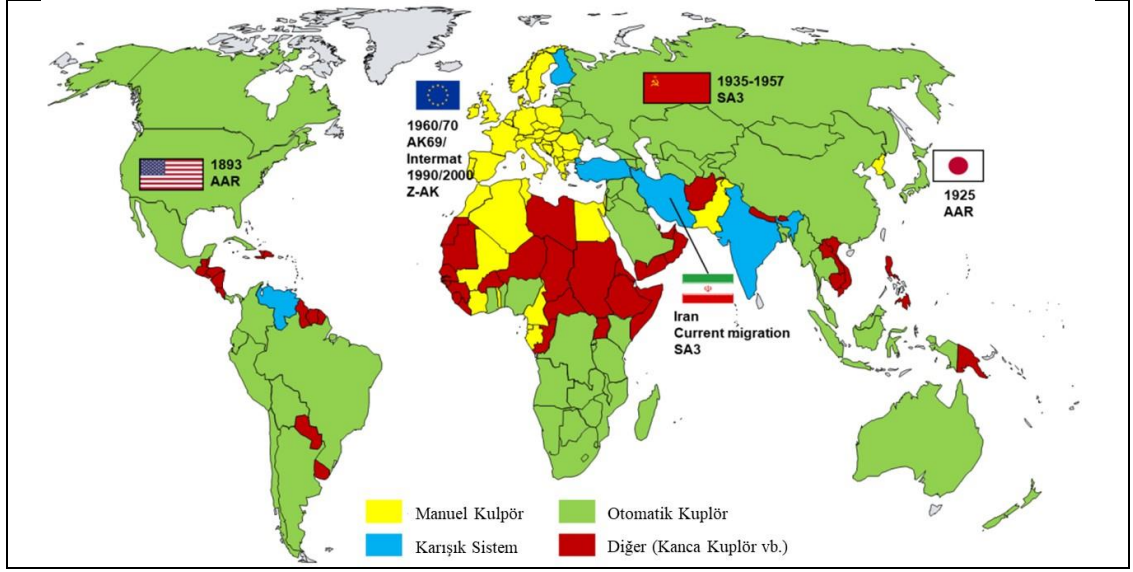
Küresel demiryolu endüstrisinde yük vagonları için standart bir kuplör sistemi kabul edilmemektedir. Bu farklı ülkelerdeki geçiş süreçleri, demiryolu kuplör teknolojisinin tarihindeki çeşitliliği ve farklı ülkelerin teknoloji tercihlerini yansıtmaktadır. Bu

nedenle her bölgenin kendi standartlarına ve tercihlerine göre farklı kuplör sistemleri kullanılmaktadır.

Türkiye'de ise çoğunlukla kanca kavramalı kuplör tertibatı ve SA3 olmak üzere iki tip kuplör kullanılmaktadır. Kanca kavramalı kuplör tertibatı, kullanımda olan birincil bağlantıdır. Lokomotifler genellikle hibrit bağlantı elemanları ve yan tamponlarla donatılmıştır. Bu nedenle iki tip kuplörün de kullanılmasına olanak sağlar. Ayrıca, hibrit bağlantılı yük vagonları da bulunmaktadır. SA3 tipi bağlantılar genellikle özellikle cevher ve madeni yağ taşımacılığında tercih edilmektedir.

Farklı türde kuplörlerin kullanılması, vagonların birbirine bağlanmasında teknik ve operasyonel zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle, uluslararası demiryolu taşımacılığında uyumsuzluklar ve kısıtlamalar yaşanmaktadır. Ancak, bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla adaptörler kullanılabilir. Adaptörler, farklı kuplör tipleri arasında geçiş yapmayı sağlayarak, uluslararası demiryolu taşımacılığında uyumu artırmayı ve operasyonel sorunları azaltılmayı amaçlamıştır.

Küresel ölçekte, demiryolu yük trafiğinde otomatik kuplörler yaygın bir teknoloji haline gelmiştir. Küresel kuplör sistemleri haritası, kanca kavramalı kuplör tertibatının genellikle Avrupa'da kullanıldığını, otomatik kuplörlerin ise Kuzey ve Güney Amerika'nın yanı sıra Asya, Afrika ve Avustralya'nın büyük bölümlerinde yaygın olarak tercih edildiğini açıkça göstermektedir (Şekil 2.2.). Otomatik kuplörlerin genellikle geniş bölgesel alanlarda kullanılmasının nedeni, uzun mesafelerde, yüksek yük ağırlıkları ve bir kilometreden uzun tren setlerine olanak sağlamasıdır. Bu durum, demiryolu taşımacılığında otomasyonun önemli bir parçası olan otomatik kuplörlerin, dünya çapında kabul gören ve tercih edilen bir standarda dönüştüğünü göstermektedir. Bu gelişme, demiryolu taşımacılığının verimliliğini artırmak ve uluslararası ticareti kolaylaştırmak amacıyla yapılan çabaların bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

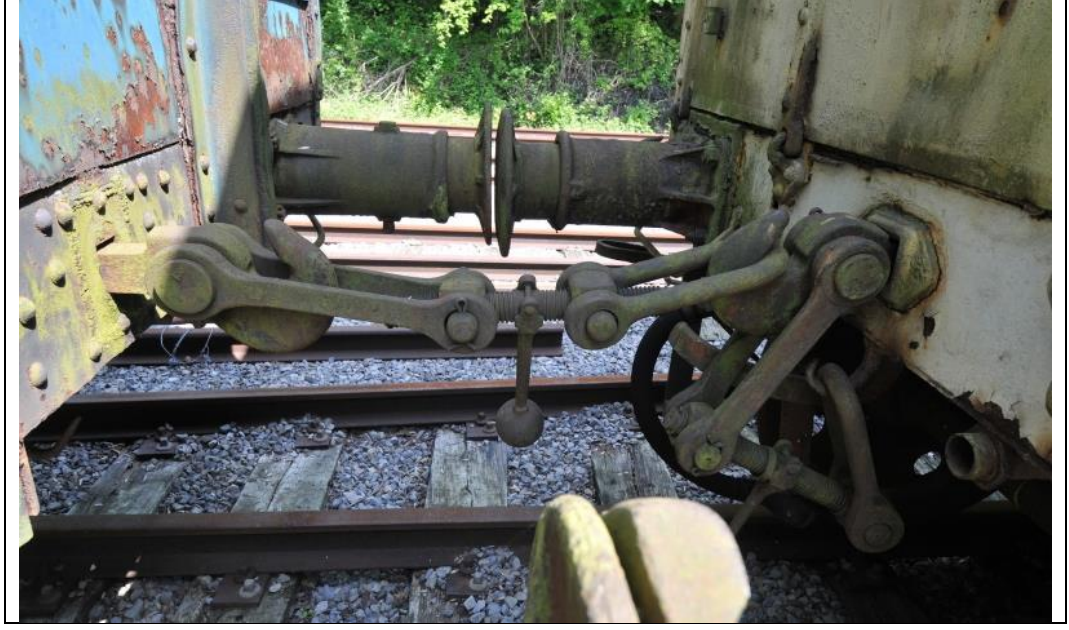


Şekil 2.2. Demiryolu yük taşımacılığında otomatik kulpörlerin dünya çapında dağıtımı [13].

2.4. DÜNYA ÜZERİNDE YAYGIN KUPLÖR ÇEŞİTLERİ

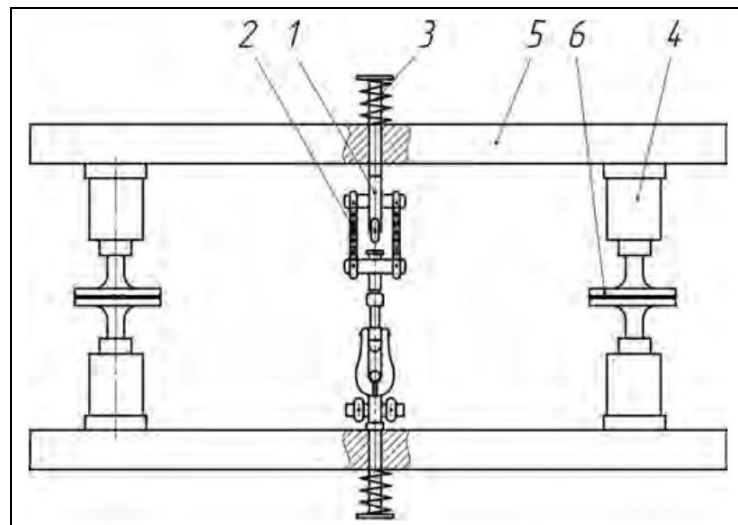
2.4.1. Kanca Kavramalı Kulpör Tertibatı

Ülkemizde yük vagonlarında en yaygın kullanılan tip, kanca kavramalı kulpör tertibatıdır. Şekil 2.3’de kanca kavramalı kulpör tertibatı görülmektedir. Bu kulpör tipi, İngiltere’de 1830 yılında kullanılmaya başlanmıştır ve Avrupa’da demiryolu yük taşımacılığında standart bir uygulamadır. Kanca kavramalı kulpör tertibatı, genellikle hafif yük trenlerinde kullanılır. Bu sistem, düşük hızlarda ve kısa mesafelerde etkili bir şekilde çalışır. Ancak, ağır yük trenlerinde ve yüksek hızlarda kullanılan modern otomatik kulpör sistemlerine göre daha az etkilidir. Maksimum çekme kuvveti 500 kN, maksimum sıkıştırma kuvveti 2.000 kN’dir.



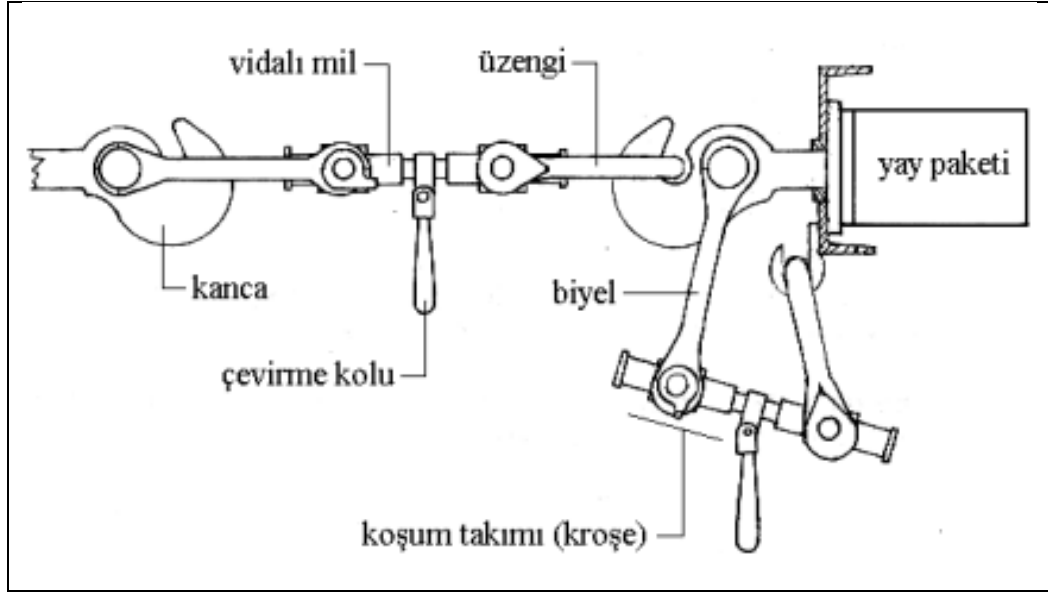
Şekil 2.3. Kanca kavramalı kuplör tertibatı.

Kanca kavramalı kuplör tertibatı, yalnızca çekme kuvvetlerini absorbe eder, ancak basınç kuvvetlerini absorbe etmez. Bu nedenle basınç kuvvetleri yük vagonuna bağlanan yan tamponlar tarafından absorbe edilmelidir. Sıkıştırma kuvvetleri tamponlar aracılığıyla iletilirken, kanca kavramalı kuplör tertibatı gevşektir ve sıkıştırma kuvvetlerinin aktarımını etkilemez. Şekil 2.4’de görüldüğü üzere sistem amortisörlü bir kanca, bir gerdirme tertibatı ve iki tampondan oluşmaktadır.



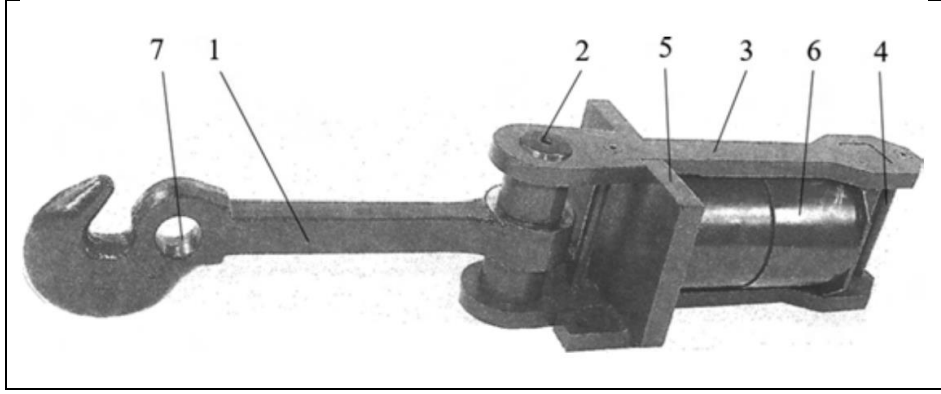
Şekil 2.4. Kanca kavramalı kuplör tertibatı şeması [14].(1) kanca (2) gerdirme mekanizması (3) amortisör (4) tampon (5) vagon gövdesinin uç kirişi ve (6) tampon plakası.

Bağlantı işlemi, vagonların arasında gergiyi gevşek konuma getiren ve ardından zinciri kancaya asan bir demiryolu işçisi tarafından gerçekleştirilir. Daha sonra gerdirme kolu kendisine, vagona veya fren borularına zarar gelmesini önlemek için rölanti kancasına yerleştirilir. Bu yöntem, manuel olarak gerçekleştirilen bağlantı işlemlerinde kullanılan geleneksel bir prosedürdür ve yük vagonlarının güvenli bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlar. Şekil 2.5’de iki adet kanca kavramalı kuplör tertibatı bağlantısı gösterilmiştir.



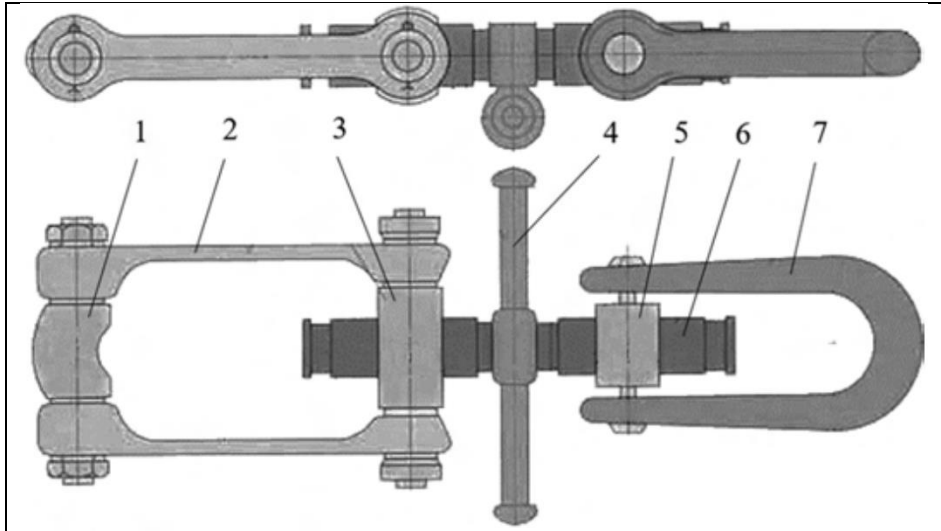
Şekil 2.5. Kanca kavramalı kuplör tertibatı bağlantısı.

Kanca, bağlantı plakaları pim aracılığıyla baskı plakasına bağlanır. Çekme tertibatı, baskı plakaları arasında bulunur. Baskı plakası, vagonun çerçevesinin mesnetine sabitlenir ve çekme kuvvetleri oluştuğunda, çekme tertibatı sıkıştırılarak iletilen kuvvetleri emer. Şekil 2.7’de gösterildiği gibi gerdirmenin 1 numaralı pimi, şekil 2.6’da bulunan 7 numaralı yuvaya takılıdır. Bu mekanizma açıkça gösterilmiştir. (Şekil 2.6, Şekil 2.7) Bu yapı, kanca kavramalı kuplör tertibatında kullanılan bağlantı mekanizmasının temel işlevlerini sağlar ve trenlerin güvenli bir şekilde birbirine bağlanmasını ve hareket etmesini sağlar [14].



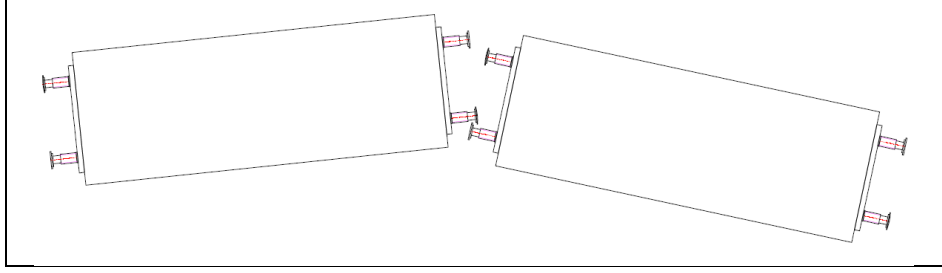
Şekil 2.6. Kanca kavramalı kuplör tertibatının amortisör ve kanca tertibatı [14].(1) kanca, (2) pim, (3) bağlantı plakaları, (4 ve 5) itme plakaları, (6) çekme tertibatı ve (7) gerdirme pimi yuvası.

Şekil 2.7’de görüldüğü üzere kanca kavramalı kuplör tertibatının gerdirme tertibatı, vidalı mile vidalanan iki somunu içerir. Vidanın kendisi, çevirme kolu aracılığıyla döndürülür. Kol döndürüldüğünde somunlar birbirine yaklaşır veya uzaklaşır. Bitişikteki vagonun kancasına yerleştirilen bükülmüş koşum takımı, sağ somunun muylularına sabitlenir. Sol somunun muylularına iki biyel takılıdır ve pim araba kancasındaki yuvadan geçirilerek uçlarına monte edilir. Şekil 2.7’de bu mekanizma detaylı bir şekilde gösterilmektedir. Bu yapı, kanca kavramalı kuplör tertibatının gerdirme işlevini yerine getirir ve bağlantıların güvenli ve sağlam olmasını sağlar.



Şekil 2.7. Kanca kavramalı kuplör tertibatının gerdirme mekanizması [14]. (1) Pim, (2) biyel, (3 ve 5) somunlar,(4) çevirme kolu, (6) vidalı mil, ve (7) koşum takımı.

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi kanca kavramalı kuplörlerin dezavantajlarından birisi keskin ters virajlarda tamponların birbirinin üzerinden kayarak kilitlenmesidir. Çok keskin dönüşlerde eski yuvarlak tamponlara sahip demiryolu taşıtlarında meydana gelen bu problem, dikdörtgen şeklinde ve daha büyük boyutlu tamponlar ile engellenmeye çalışılmıştır. Kanca kavramalı kuplör tertibatı, 150 metre yarıçapa sahip kurplarda dönüşü izin verirken keskin S-kurplardan geçise izin vermez.



Şekil 2.8. Keskin ters virajlarda birbirinin üzerinden kayarak kilitlenen vagon [15].

Kanca kavramalı kuplör tertibatı, insan faktörünün ön planda olduğu bir sistem bütünüdür. Ayrıca, demiryolu işçisinin işlem sırasında vagonların arasında durması gerekmektedir. Bu işlemler sırasında, demiryolu işçisinin uzuvlarını veya hayatını kaybetme riski bulunmaktadır.

Kanca kavramalı kuplör tertibatının avantajları arasında tasarımının ve kullanımının basit olması, düşük üretim ve bakım maliyetleri ile farklı boyut ve tipteki vagonlar arasında kolayca kullanılabilir olması yer almaktadır. Dezavantajı ise bağlantı ve ayrılma işlemlerinin manuel olarak yapılması nedeniyle zaman alıcı, iş gücü gerektiren ve işletme zorluğunu artıran bir süreç olmasıdır. Ayrıca otomatik kuplörlere kıyasla daha düşük güvenlik sunması ve tamponların darbe ve şokları emse de bu işlemi sınırlı bir kapasitede gerçekleştirmesidir.

Kanca kavramalı kuplör tertibatı demiryolu taşımacılığında uzun yıllardır kullanılan geleneksel bir kuplör sistemidir. Basit ve düşük maliyetli yapısı nedeniyle özellikle Avrupa ve Hindistan’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, manuel işlem gerektirmesi ve modern otomatik kuplörlere kıyasla daha düşük güvenlik sunması gibi dezavantajları vardır. Gelecekteki teknolojik gelişmeler ve modernizasyon çabaları,

bu sistemin verimliliğini ve güvenliğini artırabilir, ancak modern alternatifler ve yenilikler ile birlikte kullanım alanı kısıtlanmaktadır.

2.4.2. Janney Kuplör Tertibatı

Janney kuplörü veya AAR kuplörü, Amerikalı demiryolu mühendisleri tarafından geliştirilmiş ve Kuzey Amerika demiryolu ağlarında yaygın olarak kullanılan bir demiryolu kuplörüdür. Bu kuplör, ilk olarak 1873 yılında Eli H. Janney tarafından icat edilmiştir. Özellikle Kuzey Amerika'da demiryolu güvenliğinde büyük bir ilerleme olarak kabul edilen, vagon bağlantı mekanizmasıdır. Janney kuplörü, link ve pim kuplörlerinin yerini alarak, vagonların birbirine daha güvenli ve kolay bir şekilde bağlanmasını sağlamıştır. Şekil 2.10'da janney tipi kuplör bağlantısı görülmektedir.

1887'de AAR, Janney kuplörünü standart kuplör sistemi olarak kabul edilmiştir [16].

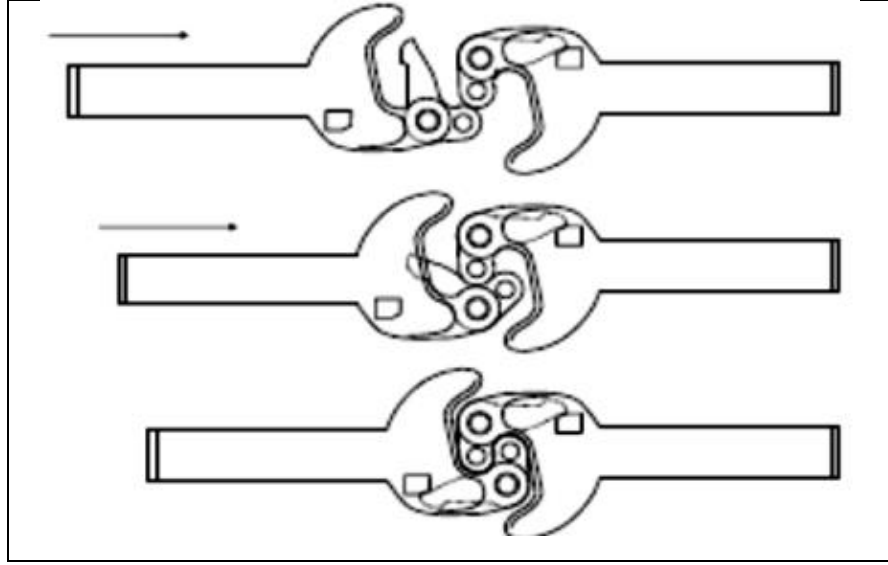


Şekil 2.9. Janney kuplörü.

Janney kuplörü, Kuzey Amerika ve Güney Afrika'daki demiryollarında yaygın olarak kullanılan, demiryolu araçlarına yönelik otomatik bir kuplördür ve çekiş kuvveti aktarımı açısından oldukça dayanıklıdır. Janney kuplörleriyle donatılmış trenler, diğer kuplör tiplerine kıyasla daha ağır yükleri taşıyabilir. Engebeli olmayan coğrafyalarda kilometrelerce uzunlukta trenlerin oluşmasını sağlar. Bu avantaj, özellikle uzun mesafeli ve ağır yük tren operasyonlarında büyük bir fayda sağlar. Janney kuplörlerinin bu yüksek performansı, onları dünya genelinde popüler hale getirmiştir. Janney kuplörlerinin Avrupa'daki yük trenlerinde kullanımı sınırlıdır, çünkü bu kuplörler Avrupa demiryolu standartlarına ve operasyonel gereksinimlerine tam olarak uyum sağlayamamaktadır. Janney kuplörleri, özellikle virajlarda bağlanma yeteneğinin sınırlı olması nedeniyle Avrupa yük trenlerinde kullanılmaya uygun değildir.

Janney kuplörlerinin tüm türevleri aynı prensibe dayanmaktadır ve birkaç detay dışında aynı tasarıma sahiptir. Janney kuplörü, birbirine kenetlenen iki metal çene kullanarak vagonları birbirine bağlar. Bu sistem, eski tip bağlama ve zincir sistemlerine göre daha güvenlidir çünkü otomatik olarak kilitlenir ve sadece özel bir manivela ile açılabilir. Bu, insan müdahalesini ve dolayısıyla iş kazalarını önemli ölçüde azaltır [17].

Çekme kuvvetleri, "boğum" olarak bilinen hareketli bir menteşe bağlantısı aracılığıyla iletilir. Ayrıca mafsal veya arkasındaki kilit, bağlantı kafalarının birbirine geçtikten sonra kaymasını önler. Başlangıçta birleştirme işlemi sırasında bir mafsal kilitli, diğeri hareketlidir. İki eklem birbirine kilitlendiğinde, ikinci mafsal da kilitlenerek iki vagonu birbirine bağlar. Böylece güvenli bir bağlantı sağlanır. Bu otomatik kitleme mekanizması, insan müdahalesi olmadan vagonların hızlı ve güvenli bir şekilde birleştirilmesini mümkün kılar. Bu mekanizma Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Ayrılma işlemi ise bir kol veya çubuk kullanılarak kolayca gerçekleştirilebilir; bu kol, kuplörlerin kilit mekanizmasını serbest bırakır ve vagonlar ayrılır.



Şekil 2.10. Janney bağlantısının temel çalışması [18].

Orijinal versiyonunda Janney kuplörü rijit olmayan bir kuplördür. Şekil 2.11’de görüldüğü üzere her iki bağlantı da hareket yönünde sağlam bir bağlantı oluşturur. Yanal olarak dışarı doğru sallanabilmeleri için araçların taban çerçevesine monte edilirler. Bağlantı kafaları, karşılıklı dikey hareket kabiliyeti sayesinde, ray konumu hatalarından, eğimdeki değişikliklerden veya farklı yükleme koşullarından kaynaklanan yükseklik farklılıklarını telafi edebilir. Ancak, pnömomatik ve elektrik hatlarının otomatik olarak bağlanması mümkün değildir.



Şekil 2.11. Seyir halinde janney kuplörü.

Günümüzde, Janney kuplörü farklı varyasyonlarla kullanılmaktadır. Eski Sovyetler Birliği ülkelerinde SA3 kuplörü gibi benzer otomatik kuplör sistemleri kullanılsa da AAR kuplörü (Janney kuplörü) dünya üzerinde en popüler kuplör türüdür [17]. Janney kuplörleri Kuzey Amerika kıtasının yanı sıra Çin, Kore, Japonya ve Güneydoğu Asya'da da yaygındır. Ancak Avrupa'da bu kuplörün kullanımı nadirdir.

Günümüzde, Janney kuplörü çeşitli gelişmiş versiyonlarla kullanılmakta olup, polimer, çelik yay ve hidrolik sistemler gibi farklı teknolojilerle entegre edilmektedir [17].

Janney kuplörlerinin avantajları, vagonları otomatik olarak kilitler ve el ile bağlama gerektirmez. Vagonların hızlı bir şekilde bağlanmasını ve ayrılmasını sağlayarak operasyonel verimliliği artırır. Sağlam yapısı sayesinde ağır yükler altında bile güvenli bir bağlantı sağlar. Yüksek hızlarda bile vagonların ayrılmasını önler. Zorlu koşullara karşı dayanıklı olan Janney kuplörleri, ağır yükler ve sert hava koşulları dahil olmak üzere çeşitli koşullarda başarılı bir şekilde kullanılabilir. Dezavantajları ise Janney kuplörleri, her zaman bağlantıya hazır olmamasıdır. Bağlantıyı hazır hale getirmek için, her iki bağlantı başlığı da kilitlendiğinde, bir çalışanın raya adım atması ve iki bağlantı başlığından birinin kilidini manuel olarak açması gerekir. Ayrıca Janney kuplörleri virajlara girerken ve çıkarken dikey eksen etrafındaki dönme hareketini, kuplör çenelerinin bağlantı noktasında gerçekleştirdiğinden kuplör büyük miktarda gevşek olmalıdır. Bağlantı üzerinde gevşekliğinin yüksek olması nedeniyle, kuplör hareket halindeyken önemli dinamik kuvvetlere maruz kalır ve bu nedenle önemli düzeyde aşınmaya maruz kalır. Sonuç olarak, yüksek düzeyde aşınmaya maruz kalan parçalar nedeniyle bakım maliyeti fazladır. Ayrıca, diğer bazı kuplör türlerine göre daha ağır olması ve virajlarda trenler arasında yeterli esnekliği sağlayamaması gibi nedenler de dezavantaja arasındadır.

2.4.3. SA3 Kuplör Tertibatı

SA3 kuplörleri, İngilizce'de "Soviet Auto-latch 3" anlamına gelir. Bu kuplörler, Willison kuplörü veya Rus kuplörü olarak da bilinir ve Sovyetler Birliği'nden etkilenen

coğrafi bölgelerdeki demiryolu bağlantılarında kullanılır. Günümüzde bu kuplörlerin birçok farklı varyantı bulunmaktadır.

Rus demiryolları, ilk dönemlerinde kanca kavramalı kuplörler kullanıyordu. Ancak çekiş yüklerindeki sınırlamalar ve vagonlar arasındaki tampon kilitleme problemleri nedeniyle daha etkili bir çözüm arayışına gidildi. 1935 ile 1957 yılları arasında SSCB'de temel Willison bağlantısının daha geliştirilmiş bir versiyonu olan "SA3" standart hale getirilecek tüm yük vagonlarının dönüşümü tamamlanmıştır [13]. Şekil 2.12'de SA3 kuplör bağlantısı gösterilmiştir. Geleneksel kanca kavramalı kuplör sistemlerine kıyasla daha sağlam ve dayanıklı olan SA3 kuplörü, özellikle ağır yük trenleri için uygundur.

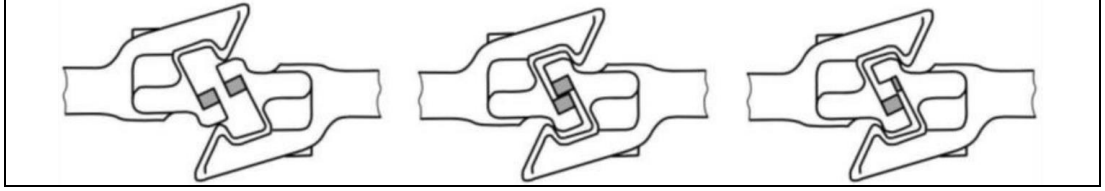


Şekil 2.12. SA3 kuplörü.

SA3 kuplörü, iki vagonu veya lokomotifini birbirine bağlamak için kullanılan otomatik bir mekanizmaya sahiptir. Kuplörün merkezi, kanca benzeri bir yapıya sahiptir ve bu yapı, kuplörlerin birbirine geçmesini sağlar. Kuplörün alt kısmında, bir kilit mekanizması bulunur ve bu mekanizma, kuplörlerin birbirinden ayrılmasını önler.

Şekil 2.13'de görüldüğü üzere SA3 kuplör bağlantısı, çarpışma aracılığıyla bağlantıyı gerçekleştirir. İki kuplör önce birbirine geçer ve daha sonra son konumlarında kilitlenir. Çekme ve sıkıştırma kuvvetleri rijit bağlantı başlığı aracılığıyla iletilir. Fren sistemi,

veri ve elektrik akışı gerektiğinde manuel olarak bağlanır. SA3 kuplörleri, otomatik kilitlenme mekanizması sayesinde güvenliği artırır ve ağır yük taşımacılığında güvenli bir bağlantı sağlar [19].



Şekil 2.13. SA3 kuplör bağlantı evreleri [18].

SA3 kuplörü, modernizasyon süreçlerine tabi tutulmaktadır. Özellikle güvenlik ve dayanıklılığı artırmak için çeşitli geliştirmeler yapılmıştır.

Dökme çelikten yapılan SA3 kuplörleri, zorlu koşullar altında uzun ömürlüdür ve yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Bu kuplörlerin sertleştirilmiş yüzeyleri aşınmaya karşı dayanıklıdır [20]. SA3 kuplörlerinin dinamik performansı, özellikle acil frenleme durumlarında ve ağır yük taşıyan trenlerde önemlidir. Bu kuplörler, yüksek uzunlamasına kuvvetlere dayanabilir ve tren dinamiklerini iyileştirir [21]. SA3 kuplörleri, enerji yönetimi ve tren hareket modellerinde de önemli bir rol oynar. Bu sistemler, frenleme ve hızlanma sırasında enerji verimliliğini artırır [22].

1990'larda SA3 yerine Z-AK geliştirilmiştir. Bu kuplörde ana fren borusu otomatik olarak bağlanmaktadır. Ancak Z-AK kuplörü yalnızca çekme kuvvetleri iletildiğinden vagona entegre yan tamponlar gereklidir. Sonuç olarak, kuplörün ağır ve pahalı olması nedeniyle verimli olmamıştır.

1994-2002 yılları arasında geliştirilen "C-AKv" iki vagonun otomatik olarak bağlanmasına olanak sağlamaktadır. Ancak geniş bir uygulama alanı bulamamış, ağır yük trafiğinde kısıtlı alanlarda kullanılmıştır.

Otomatik kilit mekanizması, kazaları önlemek ve vagonların güvenli bir şekilde bağlı kalmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Ancak, bu güvenliği sağlamak için düzenli bakım ve denetim gereklidir. Rijit bağlantı olması sebebiyle bakım işlemlerinde

genellikle kilit mekanizması kontrolü, kuplörün bağlantı noktalarında aşınma ve yıpranma belirtilerinin kontrol edilmesi ve kuplörün düzgün çalışması için düzenli olarak temizlenmesi ve yağlanması gibi yoğun bakım çalışmaları gereklidir.

SA3 kuplörü, demiryolu endüstrisinde önemli bir yere sahiptir ve özellikle eski Sovyetler Birliği topraklarında standart bir kuplör sistemi olarak kullanılmaktadır. Bu sistem, gelişen demiryolu teknolojileri ile birlikte sürekli olarak güncellenmekte ve iyileştirilmektedir. Ancak, küresel uyumluluk sorunları nedeniyle dünya genelinde sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Batı Avrupa ve Kuzey Amerika'da kullanılan kuplör sistemleri ile uyumlu değildir. Ancak, uluslararası yük taşımacılığında, SA3 kuplörünü diğer sistemlerle uyumlu hale getiren adaptörler kullanılabilir.

SA3 kuplör sisteminin ağır yükleri güvenle taşıma kapasitesine sahip olması, manuel müdahale gerektirmeden otomatik olarak bağlanabilmesi ve otomatik kilit mekanizması sayesinde güvenliği artırması avantajları arasındadır. Dezavantajları ise diğer kuplör sistemlerine göre daha ağır olması, Batı Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak kullanılan kuplörlerle uyumlu olmaması ve düzenli bakım ve kontrol gerektirmesi yer alır.

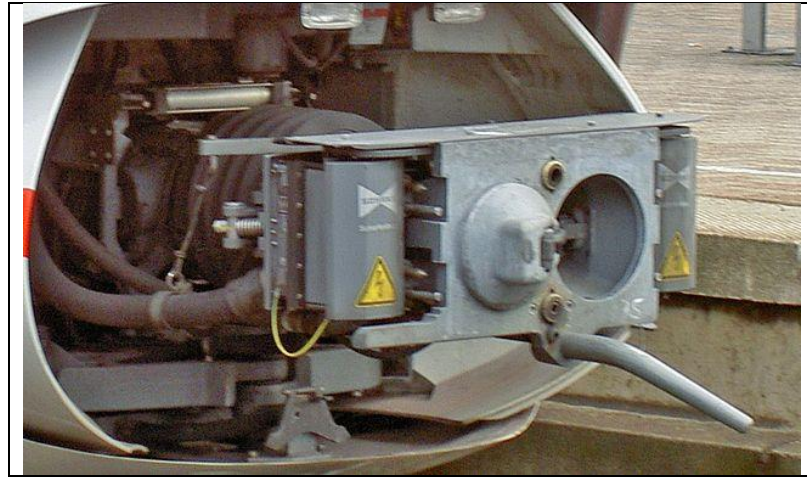
2.4.4. Scharfenberg Kuplör Tertibatı

Scharfenberg kuplörü, 1903 yılında Alman mühendis Karl Scharfenberg tarafından tasarlanmıştır. Bu kuplör, zamanla Avrupa'da ve dünyanın çeşitli bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bugün Scharfenberg kuplörleri dünya çapında tramvaylardan hızlı trenlere kadar her türlü yolcu treninde kullanılmaktadır. Şekil 2.15'de scharfenberg kuplörü gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Scharfenberg kuplörü.[*Dellner*[®]]

2002 yılında, Tip 10 olarak adlandırılan Scharfenberg kuplörü Avrupa'da yüksek hızlı demiryolu taşımacılığı için standart bağlantı haline gelmiştir [23] (Şekil 2.15.).



Şekil 2.15. ICE3[®] Yüksek hızlı trenler için uygulanmış Scharfenberg kuplör karakteristik yapısı.

Scharfenberg kuplörü, vagonları mekanik, elektriksel ve pnömötik olarak otomatik birbirine bağlayan ve ayıran bir kuplör sistemidir. Kuplör, ön yüzünde çıkıntılı bir koni ve buna uygun bir yuva barındırır. Bu tasarım, vagonların güvenli ve hızlı bir şekilde bağlanmasını sağlar.

Otomatik bağlantı sistemi, trenlerin hızlı ve kolay bir şekilde bağlanmasını sağlar, bu da operasyonel verimliliği artırır. Bu özellik, özellikle metro ve hızlı tren operasyonlarında önemli bir avantaj sağlar [24].

Scharfenberg koplörü özellikle demiryolu yük taşımacılığında kullanıma yönelik versiyonları geliştirilmiştir. 2014 yılında Almanya'nın "Yenilikçi Yük Vagonu" araştırma projesi çerçevesinde, üretilen bir Scharfenberg koplörü, 150.000 km'yi aşan saha testlerinde başarılı sonuçlar verdi. İlk olarak 2019 yılında İsviçre'de demiryolu yük taşımacılığında ticari olarak kullanıma başlandı [8].

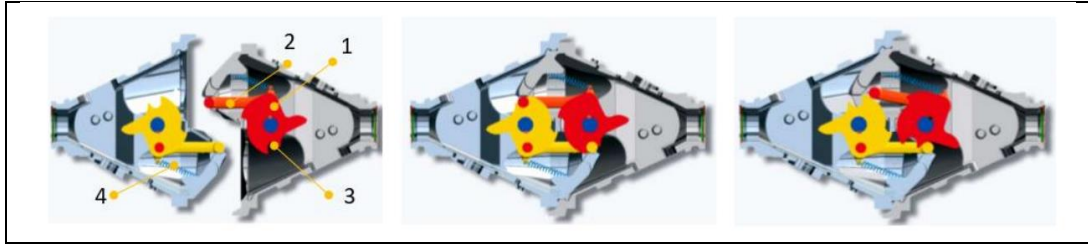
Scharfenberg koplörü ile elektrikli ve pnömomatik bağlantıları ve bağlantı kesmeleri de otomatikleşmiştir. Ancak bu elektro-pnömomatik bağlantıların yerleştirilmesine ilişkin bir standart bulunmamaktadır. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi kilitleme mekanizması koplörlerin rijit bağlantı ile mekanik bağlantısını sağlar ve bu nedenle basınçlı hava, elektrik gücü ve veri hatları gibi diğer ortamlara yönelik bağlantıların otomasyonu için son derece uygundur.



Şekil 2.16. Scharfenberg koplörü ile bağlantısı sağlanmış iki raylı sistemler aracı

Tüm Scharfenberg koplörü tasarımlarının bağlantı profilinde karakteristik bir konik ve çanak içerir. Bu karakteristik çıkıntılar aynı yükseklikte yan yana yerleştirilmiştir. Bağlantı sırasında, koni çıkıntı ile diğer koplörün çanak kısmı yönlendirilir ve merkezlenir. Şekil 2.18'de scharfenberg koplör bağlantı evreleri göstermiştir. Her bağlantı başlığı, dönen bir metal disk (1) içerir. Bunun bir tarafına bir "çember" (2)

eklenmiştir. Diğer tarafında ise bir “çentik” (3) bulunmaktadır. Yay (4) ile yerinde tutulur. Bağlantı sırasında, çember karşı bağlantının metal diskine bastığında, kendi metal diski döner ve çember çentiğe kilitlenir. Metal disk daha sonra kendi konumuna geri döner. Bağlantı süreci tamamlanmış olup bağlantılar güvenli bir şekilde bağlanmıştır. (Şekil 2.18) Çemberler paralelkenar pozisyonundadır. Bu, her bir çember üzerinden sadece yarı çekme kuvvetinin iletilmesini ve bağlantının kendiliğinden ayrılmamasını sağlar. Bağlantı serbest bırakıldığında, metal disklerden biri (yaya karşı) döndürülür ve karşı bağlantının çemberi çentikten çıkar. Diğer bağlantı hareketi takip etmek zorunda olduğundan, bir bağlantının serbest bırakma mekanizması çalıştırıldığında her iki bağlantı başlığı da açılır. [25]



Şekil 2.17. Scharfenberg kuplör bağlantı evreleri [18].

Avantajlar arasında, insan müdahalesine gerek kalmadan vagonların hızlı ve güvenli bir şekilde bağlanmasını sağlayan otomatik bağlantı ve ayrılma işlevi bulunur. Ayrıca, mekanik bağlantının yanı sıra hava ve elektrik bağlantılarını da otomatik olarak gerçekleştiren çok fonksiyonluluk, operasyonel verimliliği artırır. Otomatik kilitleme mekanizmasıyla daha güvenli bir bağlantı sunar.

Dezavantajlar arasında ise diğer bazı kuplör sistemleriyle uyumsuzluğu ve farklı üreticiler tarafından üretilen Scharfenberg kuplörlerinin elektriksiz bağlantılarının her zaman uyumlu olmama sorunu bulunmaktadır.

Scharfenberg kuplörleri, teknolojinin ilerlemesiyle sürekli olarak gelişmektedir. Yeni malzemeler ve tasarım yenilikleri, kuplörlerin daha hafif, dayanıklı ve verimli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, dijital teknolojilerin entegrasyonu, kuplörlerin bağlantı süreçlerini otomatik olarak izlemeyi ve kontrol etmeyi mümkün kılarak, güvenliği ve verimliliği daha da artırmaktadır.

BÖLÜM 3

3. PROJENİN TANIMI

Demiryolu tarihi boyunca, ülkeler kendi coğrafyalarına, komşu ülkelerin etkisine ve operasyon maliyetlerine göre çeşitli kuplör bağlantıları geliştirmişlerdir. Yolcu vagonlarında dünya çapında belirli kuplör tipleri kabul edilmiş olsa da UIC'nin girişimlerine rağmen yük vagonlarında global bir standart oluşturulamamıştır. Yeni tip kuplörlerin eski vagonlara uygulanması maliyetli ve operasyonel zorluklarla doludur. Farklı kuplörler arasındaki uyumsuzluk nedeniyle yeni üretilen vagonlarda geçmiş dönem kuplör teknolojisinin kullanılmasına mecbur kalınmıştır. Bu nedenle, kuplör teknolojisi günümüz gelişmelerinden izole kalmıştır.

Farklı tipteki kuplör bağlantıları, ülkeler arası ticaretlerde operasyonel zorluklara yol açmıştır. Ülke sınırlarında vagon değişimi veya farklı bağlantı tiplerinin uyumsuzluğu, uluslararası yük taşımacılığının rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir.

Projenin merkezi olan Avrupa, kanca kavramalı kuplör tertibatı kullanmaktadır. Kanca kavramalı kuplör tertibatı 1830 veya 1840'larda, Londra-Birmingham demiryolunda tanıtılmıştır [26]. Bu nedenle, Avrupa'nın yük demiryolları kuplaj teknolojisi, teknik detaylarda iyileştirmelere rağmen, temel olarak son 170 yılda gelişmemiştir. Bu da günümüz teknolojisinin yük vagonlarına uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca tren setlerinin bağlantılarının manuel olarak yapılması demiryolu işçilerinin can ve uzuv kayıpları yaşama olasılığı nedeniyle tehlikeli bir durumdur.

Manuel veya yarı otomatik bağlantılarda sadece pnömatik bağlantılar ile fren sistemlerine güç sağlanmaktadır. Mevcut bağlantılar, yük vagonlarının üzerinden bilgi akışı sağlanamamaktadır. Rulman sıcaklığı, fren durumu gibi kritik bilgilerin yanı sıra bakım bilgilerine, vagon konumuna, yüke ve ağırlığa erişilememektedir. Teknolojik izolasyonlar nedeniyle örneğin seyir sırasında fren hatalarının fark edilmesi zor ve bu

arızalar demiryoluna ve araçlara ciddi zararlar vermektedir. Ayrıca uzun tren setlerinin fren sistemleri için gerekli hava dolun süresi ve testleri sırasında geçen vakit operasyon sürelerini uzatmaktadır.

Bir kısmı yukarıda bahsedilen problemlerin dijital otomatik kuplör projesi ile çözülmesi planlanmaktadır. Tek tip kuplörlerin kullanılması işletme verimliliğini artıracak, daha uzun tren setleri daha kısa sürede oluşturulabilecektir. İşletme hızı artacak, iş kazası riski azalacak ve fren testi süresi azalacaktır. Otomatik kuplör bağlantısı üzerinden elektrik bağlantısının otomasyonu, elektrikli fren sistemlerinin kullanılmasını mümkün kılacaktır. Bu otomasyon bağlantıları ile vagonlardan alınan bilgiler, vagon sahiplerinin dijital operasyonları ve yük taşımacılığı için performansa dayalı bakım planlarının izlenmesini sağlayacaktır.

Yük vagonlarında dijital otomatik kuplör geçişi, teknolojik altyapının gelişimi ile verimlilik artışına yol açarak demiryolu taşıyıcısının rekabet gücünü artıracaktır.

3.1. AVRUPA DİJİTAL OTOMATİK KUPLÖR PROJESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

AB Komisyonu AB'nin 2050 iklim nötr olma hedefi doğrultusunda ara dönem taahhüdü sera gazı emisyonlarının 2040 yılına kadar 1990 seviyesine kıyasla %90 oranında azaltımı öngörmektedir [27].

Bu kapsamda 2019 yılında Avrupa Birliği tarafından finanse edilen Digital Automatic Coupling projesi (DAK), iklim değişikliği politikalarına ulaşmak için yük taşımacılığının karayolundan demiryoluna kaydırılmasının önemli bir unsuru olarak kabul edilmektedir.

Avrupa genelinde yük taşımacılığında kullanılmak üzere başlatılan projeler aracılığıyla, kanca kavramalı kuplör tertibatı yerine farklı kuplör tipleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Avrupa Birliği birçok araştırma ve test sonrası ortak bir bağlantı tipi olarak DAK projesi için Scharfenberg kuplör bağlantısını seçilmiştir.

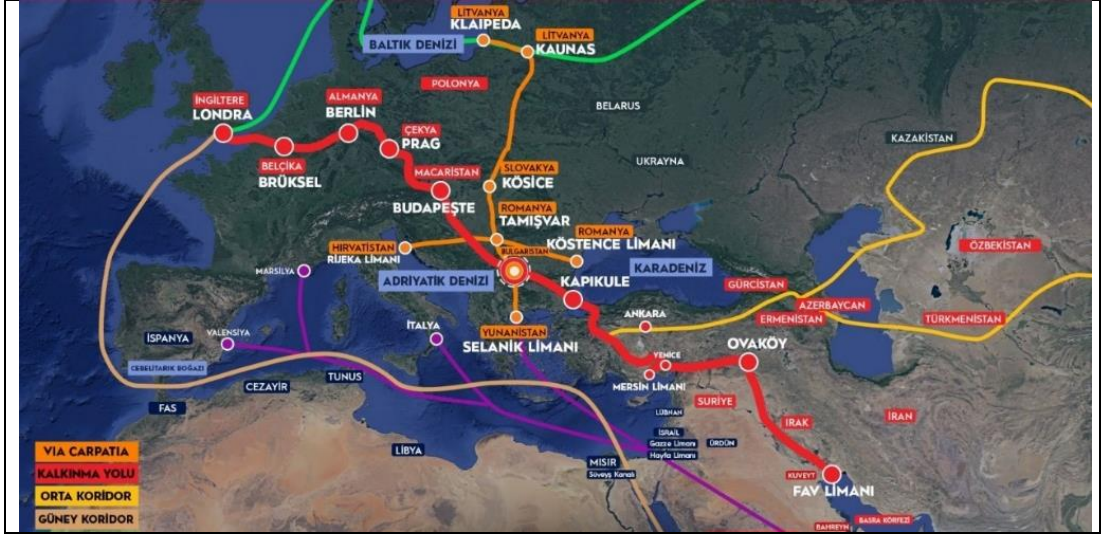
Bundan sonraki süreçte, ortak dijital otomatik kuplör için spesifikasyonların ve uyumluluk/güvenlik ara yüzlerinin geliştirilmesi planlanmaktadır. AB'nin TSI gereklilikleri ve seri üretimle ilgili açık noktaların çözümüyle sonuçlanması beklenmektedir.

AB 2030 yılında bu geçişi tamamlayarak Avrupa'nın demiryolu altyapısını daha rekabetçi ve sürdürülebilir hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu proje, demiryolu taşımacılığının teknolojik ve operasyonel açıdan geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacak ve Avrupa'nın demiryolu sektörünün uluslararası arenada daha etkin bir konuma gelmesini destekleyecektir.

3.2. TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUMUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Küresel çevreci iklim politikaları ve deniz taşımacılığındaki zorluklar, Türkiye'yi Avrupa ve Asya arasında kritik bir demiryolu köprüsü haline getirmektedir. Türkiye, Türk Devletleri Teşkilatı ile Asya'daki Türk Devletleri ile Avrupa arasındaki bağlantıyı sağlayan orta koridor projesi kapsamında önemli bir rol üstlenmektedir. Ayrıca, Çin'in "Bir Kuşak Bir Yol Projesi" kapsamında Şanghay'dan başlayarak Londra'ya kadar uzanan bir tren güzergahı Türkiye üzerinden geçmektedir. Bu uluslararası koridorlar şekil 3.1'de gösterilmiştir. Uluslararası koridorlara ek olarak, Türkiye'nin Irak ile imzaladığı kalkınma yolu anlaşmasıyla Ümit Burnu ve Süveyş Kanalı üzerinden yapılan deniz yolu taşımacılığına alternatif bir demiryolu güzergahı oluşturulması planlanmıştır. Bu koridorların en önemli rekabet avantajı, zaman ve maliyet faktörlerine dayanmaktadır.

Uluslararası koridorlar üzerinden Türkiye'ye gelen yük trenleri, Avrupa'ya geçişte TSI şartlarını karşılaması gerekmektedir. Asya bölgesinden gelen vagonların bu şartı karşılamaması nedeniyle yükler Türk vagonlara devredilmekte ve ürünlerin Avrupa'ya geçiş sağlanmaktadır. Türkiye'nin iç pazarında üretilen ürünlerin de Avrupa pazarında rekabetçi olabilmesi için demiryolu yük taşımacılığının önemi büyüktür. Demiryolları ile ürünlerin hızlı ve ekonomik bir şekilde Avrupa'ya ulaşması sağlanırken, taşıma maliyetleri de düşürülmüş olur. Bu nedenle, demiryolu koridorları, Türkiye'nin uluslararası ticaretinde stratejik bir öneme sahiptir.



Şekil 3.1. Türkiye üzerinden geçen uluslararası demiryolu koridorları [UAB]

Batıdaki komşu ülkelerin AB üyesi oldukları ve UIC üyesi oldukları göz önüne alındığında, Türkiye'nin sahip olduğu veya sahip olacağı çeken ve çekilen araçların UIC, EN ve TSI standartlarına uygunluğunun sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin demiryolu altyapısını güçlendirmesi ve modernize etmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği'nde demiryollarında yapılan yeniliklere uyum sağlamak ve çevreci iklim politikalarına destek olabilmek adına Türkiye'de yük vagonlarında 170 yıllık eski olan kuplör bağlantısını dijital otomatik kuplörler ile modernize etmesi beklenmektedir.

3.3. OTOMATİK KUPLÖR ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Otomatik kuplörlerin imalatı için gerekli olan üretim teknolojileri aşağıdaki süreçleri içerir.

3.3.1. Mühendislik Tasarımı

Mühendislik tasarımı, temelde mühendislik problemlerine çözüm üreten ve yeni ürünler, sistemler veya süreçler geliştiren kapsamlı bir yaklaşımdır. Mühendislerin yaratıcı düşüncelerini ve teknik bilgilerini kullanarak, belirli bir amaca hizmet eden

ürünler, sistemler veya süreçler geliştirme sürecidir [28]. Bu süreç, problem tanımlama, kavramsal tasarım, detaylı tasarım, prototip oluşturma ve test etme gibi aşamaları içerir. Mühendislik tasarım sürecinin ilk aşaması, çözülecek problemin net bir şekilde tanımlanmasıdır [29]. Bu aşamada projenin hedefleri, kısıtları ve gereksinimleri netleştirilir. Ardından, problemin anlaşılmasına takiben, farklı çözüm yöntemleri ve tasarım fikirleri üretilir, çeşitli kavramlar ve tasarım seçenekleri değerlendirilir.

Kavramsal tasarım aşamasında, mühendisler belirlenen problem doğrultusunda çeşitli çözüm önerileri geliştirirler [30]. Detaylı tasarım aşaması, seçilen kavramın teknik detaylarının belirlendiği aşamadır. Bu aşamada, mühendisler çizimler, hesaplamalar ve simülasyonlar yaparak tasarımı detaylandırır [28]. Parça listeleri, malzeme seçimleri ve üretim yöntemleri bu aşamada netleştirilir. Seçilen konseptler detaylı olarak incelenir ve geliştirilir, tasarımın teknik detayları belirlenir ve tasarım çizimleri ile spesifikasyonlar oluşturulur.

Prototip oluşturma ve test etme aşaması, tasarımın gerçek dünya koşullarında çalışabilirliğinin test edildiği aşamadır. Prototipler, tasarımın doğruluğunu ve işlevselliğini test etmek amacıyla oluşturulur ve çeşitli testlerden geçirilir. Bu aşamada elde edilen veriler, tasarımın iyileştirilmesi ve nihai ürünün geliştirilmesi için kullanılır [31]. Tasarımın bir prototipi üretilir ve test edilir, gerçek dünya koşullarında performansı değerlendirilir ve gerektiğinde iyileştirmeler yapılır. Son olarak, test sonuçlarına dayanarak tasarım revize edilir ve iyileştirilir, geri bildirimler doğrultusunda tasarımın revizyonları yapılır.

Mühendislik tasarımı genellikle disiplinlerarası bir yaklaşım gerektirir. Farklı mühendislik alanlarından uzmanlar, birlikte çalışarak karmaşık problemleri çözebilirler [32]. Mühendislik, matematik, fizik, malzeme bilimi, bilgisayar bilimi ve işletme gibi çeşitli alanlardan gelen bilgi ve becerilerin entegrasyonunu içerir. Bu süreç, yenilikçi ve sürdürülebilir çözümler üretmek için kritiktir ve geniş bir uygulama alanına sahiptir.

3.3.2. Döküm Teknolojisi

Döküm teknolojisi, metal ve diğer malzemeleri eriterek kalıplar içine dökme yöntemiyle şekil verme sürecidir. Bu teknik, otomotivden havacılığa, makine imalatına kadar geniş bir yelpazede kullanılır.

Süreç; model hazırlama, eritme, soğutma ve işleme olmak üzere dört ana aşamadan oluşur. Eritilecek metalin döküleceği kalıp oluşturulur. Metal, yüksek sıcaklıkta eritilir ve sıvı halde kum, çelik veya seramik kalıplara dökülür. Soğutma işlemiyle metal katılaşır ve kalıbın şeklini alır. Son olarak, kalıptan çıkarılan parça üzerindeki fazlalıklar temizlenir ve çeşitli yüzey işlemleri uygulanarak nihai ürün elde edilir [33].

Bu teknoloji sayesinde, içi boş yapılar, ince duvarlar ve karmaşık yüzey detayları gibi özellikler, tek bir işlemle üretilebilir. Döküm kalıplarının üretiminde kullanılan malzemeler ve teknikler, bu esnekliği artırarak daha karmaşık ve hassas parçaların üretilmesine olanak tanır [34].

Çeşitli metallerin yanı sıra yüksek ısıya dayanıklı özel alaşımlar da kullanılabilir, bu da malzeme çeşitliliğini artırır. Yüksek üretim hacimlerinde maliyet etkinliği sağlayan bu yöntem, kalıp maliyetlerini bölerek üretim maliyetini düşürür. Ayrıca, döküm işlemleri kalıplar hazır olduğunda hızla seri üretim yapılmasına olanak tanır, bu da üretim sürecini önemli ölçüde hızlandırır.

3.3.3. Dövme Teknolojisi

Dövme teknolojisi, metal parçaları şekillendirmek için kullanılan bir metal işleme yöntemidir. Bu teknik, metali yüksek sıcaklıklara kadar ısıtarak yumuşatır ve ardından çeşitli dövme araçları ile basınç uygulayarak istenilen şekli verir. Dövme işlemi, genellikle yüksek dayanıklılık ve mukavemet gerektiren parçaların üretiminde tercih edilir [35].

Dövme teknolojisi, metalin yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıyla başlar, böylece dövülebilir bir hale gelir. Isıtılan metal daha sonra çekiçler, presler veya dövme

makineleri kullanılarak istenilen şekle sokulur ve çeşitli kalıplar arasında şekillendirilir. Şekillendirme işlemi tamamlandıktan sonra, metal yavaşça soğutulur ve gerekli mekanik özelliklere kavuşur. Son aşamada ise, dövme işlemi tamamlanmış parçalar üzerinde yüzey işlemleri yapılır; bu işlemlerle ürünün korozyona direnci artırılır ve yüzey kalitesi iyileştirilir. Bu süreçler, dövme parçaların yüksek mukavemet ve dayanıklılık kazanmasını sağlar.

Dövme teknolojisinin başlıca avantajları arasında yüksek mukavemet, üstün yorulma direnci ve iyi mekanik özellikler bulunur. Dövme teknolojisi, mühendislikte kritik bir yere sahiptir ve çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Metallerin şekillendirilmesinde sağladığı mukavemet ve dayanıklılık gibi avantajlar, bu teknolojinin önemini artırmaktadır [36].

Bu teknik genellikle otomotiv, havacılık, savunma sanayi ve inşaat ekipmanları gibi sektörlerde kullanılır. Dövme yöntemi, özellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda vazgeçilmez bir işlem olarak kabul edilir [35].

3.3.4. Talaşlı İmalat Teknolojisi

Talaşlı imalat teknolojisi, malzeme yüzeyinden talaş kaldırarak istenilen şekil ve boyutlara getirme sürecidir. Bu süreçte kesme, tornalama, frezeleme, delme gibi çeşitli yöntemler kullanılır.

Talaşlı imalat teknolojisi, modern imalat sanayisinin temel taşlarından biridir. Özellikle karmaşık ve hassas parçaların üretiminde büyük bir rol oynar [37]. Talaşlı imalat, bir iş parçasından istenmeyen malzeme kısımlarının talaş adı verilen küçük parçacıklar halinde çıkarılması esasına dayanır [38]. Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takım, iş parçasına belirli bir hız ve kuvvetle temas eder ve malzemeyi keser [36].

Tornalama döner bir kesme aleti ile dönen malzemenin çevresinden malzeme kaldırma işlemidir ve özellikle silindirik parçaların üretiminde tercih edilir. Frezeleme ise kesici bir aletin, malzeme üzerinde ileri geri hareket etmesiyle yüzeyden malzeme kaldırılmasını sağlar ve düz veya kavisli yüzeylerin oluşturulmasında kullanılır.

Delme işlemi, malzemelerin belirli noktalarından malzeme çıkararak delikler açılmasını sağlar ve montaj işlemleri için gerekli olan delikleri açmak amacıyla kullanılır. Taşlama işlemi, yüzey kalitesini artırmak ve çok hassas ölçüler elde etmek için kullanılır ve genellikle son işlem olarak uygulanır. CNC İşleme ise yüksek hassasiyet gerektiren işlemlerde kullanılır ve CNC makineleri programlanarak otomatik olarak işleme yapılmasını sağlar.

Talaşlı imalat teknolojisi, modern üretim süreçlerinde kritik bir rol oynar. İşleme teknolojisi, otomotiv, havacılık, medikal ve savunma sanayi gibi birçok sektörde kritik öneme sahiptir ve modern üretimin vazgeçilmez bir parçasıdır, çünkü üretim süreçlerinin hızını, verimliliğini ve ürün kalitesini artırır.

3.3.5. Kaynaklı İmalat Teknolojisi

Kaynaklı imalat, iki veya daha fazla metal veya termoplastik malzemenin birleştirilmesi işlemini kapsayan bir üretim teknolojisidir. Bu işlem, malzemelerin uçlarının veya yüzeylerinin ısıtma işlemi, basınç veya her ikisi kullanılarak birleştirilmesiyle gerçekleştirilir [39]. Kaynak işlemi sırasında, malzemeler birleştirilerek katılaşır ve tek bir parça haline gelir. Bu süreçte, kullanılan tekniklere ve malzemelere bağlı olarak, çeşitli kaynak yöntemleri ve ekipmanları kullanılır [40]. Genellikle endüstriyel üretim, inşaat, otomotiv, gemi yapımı ve metal imalat gibi çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır.

Kaynak işlemi tipik olarak şu adımlardan oluşur: hazırlık, ısıtma, birleştirme ve soğutma. Hazırlık adımında, birleştirilecek metal parçalar uygun şekilde temizlenir, düzeltilir ve uygun pozisyona getirilir. Isıtma aşamasında, metal parçalar kaynak bölgesinde istenen sıcaklığa kadar ısıtılır, bu da metalin erimesini ve kaynağın sağlanmasını sağlar. Birleştirme aşamasında, ısıtılmış parçalar bir araya getirilir ve istenilen pozisyonda tutulur. Bu adımda, erimiş metal, birleştirilecek parçalar arasında doldurucu malzeme olarak kullanılabilir. Son olarak, Soğutma aşamasında, birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra, kaynak bölgesi yavaşça soğutulur. Bu, birleştirme noktasının dayanıklı ve istikrarlı bir şekilde birleşmesini sağlar.

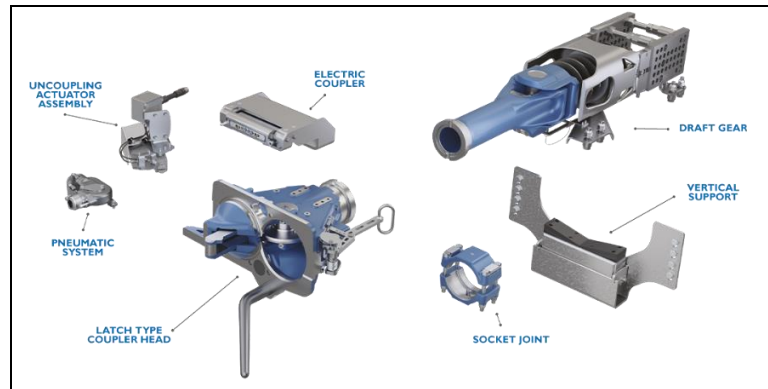
Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra, kaynak bağlantısının görsel olarak muayene edilmesi gerekir. Yüzeyde çatlaklar, gözenekler veya diğer kusurlar olup olmadığı kontrol edilir [39]. Daha detaylı bir değerlendirme için tahribatsız test yöntemleri kullanılır. Ultrasonik testler, röntgen muayenesi ve manyetik partikül testleri bu amaçla yaygın olarak kullanılır [40].

EN 15085, demiryolu araçlarının ve komponentlerinin kaynaklanması için bir Avrupa standardıdır. Bu standart, demiryolu sektöründe güvenlik ve kaliteyi artırmak amacıyla geliştirilmiştir. EN 15085, demiryolu araçlarının ve komponentlerinin kaynaklı imalatı için gereklilikleri ve kalite güvence sistemlerini belirler. Demiryollarında üretimi yapılacak kuplör için üreticilerin ve tedarikçilerin kaynak süreçlerini belgelendirerek kaliteyi ve güvenilirliği temin etmelerini sağlar.

Kaynak işlemi, yüksek mukavemetli ve dayanıklı bağlantılar oluşturmanın yanı sıra, çeşitli malzemelerin birleştirilmesine de olanak tanır. Bu teknoloji, üretim süreçlerinin verimliliğini artırır ve maliyet etkin çözümler sunar [39].

3.4. DİJİTAL OTOMATİK KUPLÖR BİRLEŞENLERİ

Bu çalışmada AB tarafında demiryolu yük taşımacılığında dijital otomatik kuplör dönüşümünde kabul edilen şekil 3.2’de gösterilen Scharfenberg kuplör tertibatı birleşenleri için hazırlanmıştır. Scharfenberg kuplör tertibatı mekanik, elektrik bağlantıları ve pnömatik bağlantılar olmak üzere dört bölüme ayrılmaktadır.



Şekil 3.2. Yük vagonu için uyarlanmış scharfenberg kuplörü patlatılmış görüntüsü

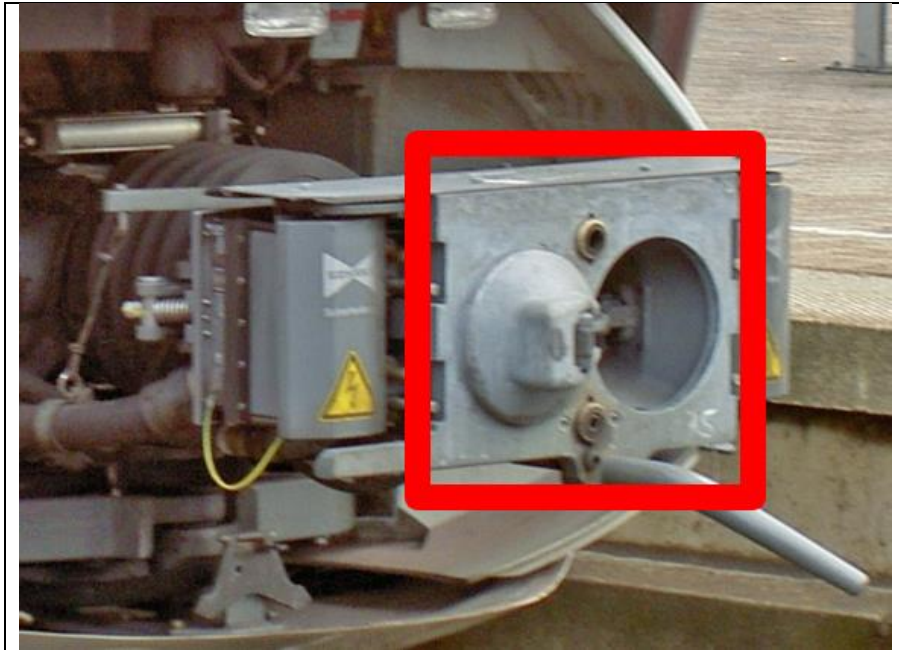
[Dellner®]

3.4.1. Mekanik Bağlantılar

3.4.1.1 Mekanik Bağlantı Kafası

Mekanik kuplör kafası, iki aracın mekanik bağlantısını sağlar. Şekil 3.3’de görüldüğü üzere kuplör kafası, mümkün olan en geniş yakalama alanına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır, böylece otomatik kuplörle birleşme mümkün olur. Yakalama alanı, kuplörün altında bulunan bir yakalayıcı ile genişletilir. Bu, kuplörlerin virajlarda ve yükseklik farklarında birleşmesine olanak tanır. Yakalayıcı, bir kuplörü diğerine doğru yönlendirir ve geri kalan iş koniler tarafından yapılır. Bu koniler, karşıdaki kuplörün hunisine tam olarak oturarak sıkı bir bağlantı oluşturur. Bu da otomatik hizalama ve bağlantıya olanak tanır. Bu sayede araçlar hızlı ve güvenilir bir şekilde bağlanabilir. Bağlantı boşluksuzdur, bu da aşınmayı en aza indirir.

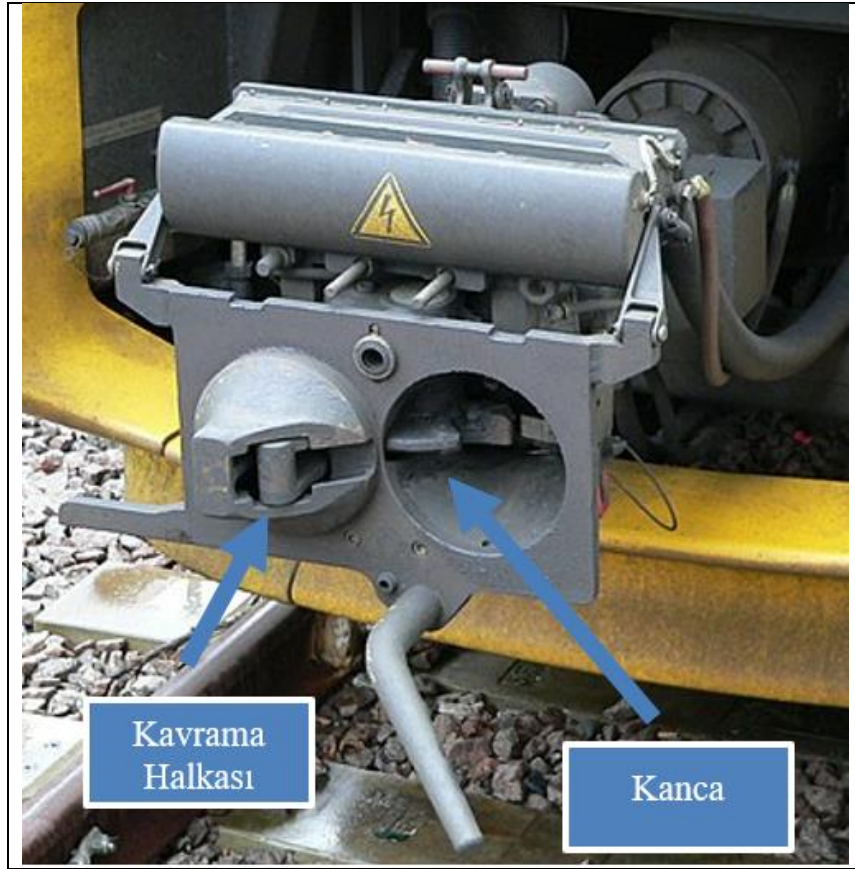
Bu kısım üzerinden aynı zamanda vagonlar arasında pnömatik, elektriksel bağlantılar yapılır. Kuplörün birleşme işlemi sırasında ilk önce mekanik ve pnömatik bağlantılar yapılır, ardından elektriksel bağlantı sağlanır. Kafa kısmı genellikle şu bileşenleri içerir: kilitleme mekanizması, ayrılma mekanizması, hava hattı bağlantısı, elektrik ve veri hattı bağlantısı.



Şekil 3.3. Scharfenberg kuplörü mekanik bağlantı kafası.

3.4.1.2 Kilit Mekanizması

Şekil 3.4’de görüldüğü üzere kuplör bağlantısı ve kanca plakası, mekanik kuplör üzerindeki kilitleme cihazını oluşturur. Çevreden korunmak için bağlandıklarında kuplör başlığının içine yerleştirilmiştir. Kuplör kilidi, iki aracı mekanik olarak birbirine bağlar. Mekanik bağlantının yapılmasında ayar kilidi ve iki konumlu kilit olmak üzere iki farklı çeşidi bulunmaktadır.



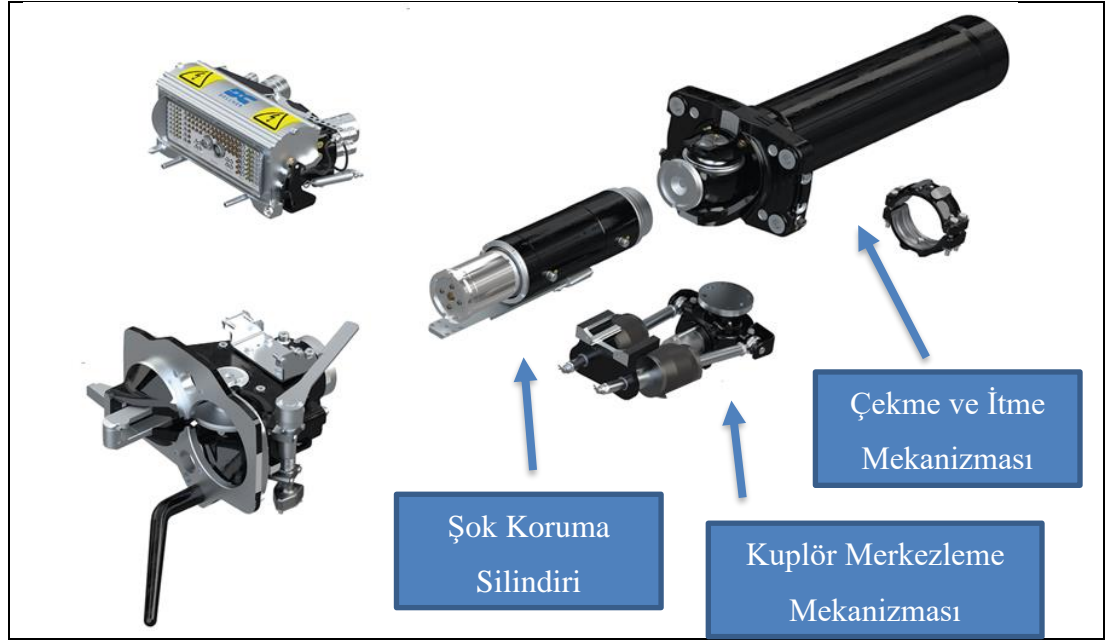
Şekil 3.4. Scharfenberg kuplörü kilit mekanizması.

3.4.1.3 Ayırma Mekanizması

Kuplör kilitlerinin serbest bırakılmasını sağlar. Ayırma işlemi, operatör kabinden ayırma düğmesine basılarak başlatılır. Ayırma işlemi başlatıldığında, ayırma motoru devreye girer ve kilit mekanizmasındaki bağlantıları serbest bırakmak için kancalı levhayı döndürür. Ayırma cihazında bir arıza veya acil durum durumunda, manuel ayırma işlemi bir ayırma kolu aracılığıyla gerçekleştirilebilir.

3.4.2. Şok Emici Bileşenler

Şok emici bileşenler bağlantı kafasının arka kısmını ifade eder. Göreve bağlı olarak farklı şekillerde yapılabilir ve bir şok koruma silindiri, çekme ve itme mekanizması ve kuplör merkezleme mekanizması gerekirse bir merkez ayarlama cihazından oluşur. Parçaların detaylı görüntüsü şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Kuplör sok emici bileşenleri.

3.4.2.1 Şok Koruma Silindiri

Yay, gaz veya hidrolik darbe emici unsurlardan oluşabilir. Darbe emici, kuplör çubuğunda bulunur. Vagonu yüksek çarpışma hızlarında hasardan korur. Vagona, ağırlığa ve ayara bağlı olarak 20 km/s hızlara kadar çarpışmalar hasarsız bir şekilde atlatılabilir. Kuplörün silindirik gövdesi tampon görevi görür ve rulman braketine bağlanır. Tamponun işlevi, tampon ve çekiş yüklerinin mümkün olduğunca fazlasını emmektir. Tampon, raylı aracın sıkışmasını önler. Rulman braketi, kuplörün yatay ve dikey olarak hareket etmesine izin verir. Tamponun arka ucunda kesme pimleri bulunmaktadır. Maksimum kesme kuvveti aşıldığında, kesme pimleri kesilir ve tamponun ek olarak sıkışmasına izin verilir.

3.4.2.2 Çekme ve İtme Mekanizması

Kuplörün arka kısmını ifade eder. Çekme ve itme mekanizmasının işlevi, itme, çekme, başlatma, durdurma ve bağlama ile ilişkili enerjiyi emerek raylı aracı korumaktır. Kuplör merkezleme mekanizması, kuplör yüzünü araç gövdesine bağlar. Bu düzen, elastomer yaylı menteşe, çelik sürtünme yayları ve lastik boşluk yaylarından oluşur.

3.4.2.3 Kuplör Merkezleme Mekanizması

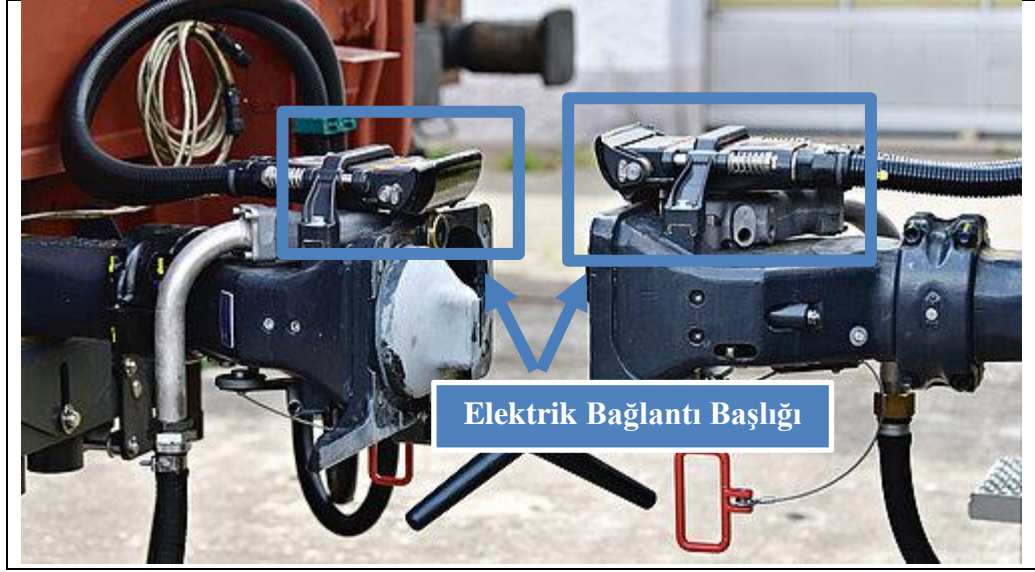
Merkezleme mekanizmasının görevi vagonun ayrılmış kuplörünün dikey ve yatay olarak konumlandırılmayı, kuplörün sallanmasını engellemektir. Ayrıca otomatik bağlantı gerçekleştiğinde kuplörün doğru konumda kalmasını ve virajları takip etmesini sağlar.

Üç tür merkezleme düzeni vardır: mekanik, pnömatik ve elektrikli. Mekanik merkezleme düzeni, kuplör birleşmiş veya birleşmemiş olsa da her zaman çalışır. Pnömatik ve elektrikli merkezleme düzeni, sadece kuplör birleşmemişken çalışır; kuplör birleştiğinde devre dışı kalır. Bu üç türün çalışma şekilleri benzerdir. Mekanik ve elektrikli merkezleme düzeninde, merkezleme yaylar aracılığıyla yapılır; pnömatik merkezleme düzeninde ise basınçlı hava kullanılır.

3.4.3. Elektrik Bağlantı Bileşenleri

3.4.3.1 Elektrikli Kuplör Başlığı

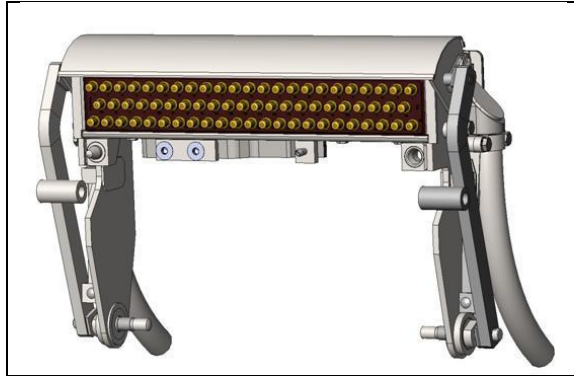
Kuplör de bir veya iki elektrikli kuplör başlığı olabilir. Şekil 3.6'da elektrik bağlantı başlığı gösterilmiştir. Elektrikli kuplör başlığı, elektrik pimlerini barındırır. Elektrikli kuplör başlıkları hava veya elektrik motoru ile yerine oturtulabilir. Elektrikli kuplör başlığı, mekanik kuplörün süspansiyon bağlantısına monte edilir. Birleşmemiş durumda, kontaklar kir ve nemden korunmak için bir koruma kapağı ile kapatılır ve bağlantı seviyesinin arkasına çekilir. İki araç birleştiğinde, kontak kutuları otomatik olarak kuplör konumuna getirilir ve koruma kapakları kendiliğinden açılır. Kontak kutuları birbirine bastırılarak kontaklar birleştirilir.



Şekil 3.6. Elektrik bağlantı başlığı.

3.4.3.2 Elektrik Pimleri

Elektrikli kuplör, elektrik teması sağlayan ve bir yalıtım bloğunda bulunan elektrik pimlerine sahiptir (Şekil 3.7.). Elektrik pimleri, sabit temaslı veya hareketli (yay yüklü) temaslı olabilir. Pimler, bağlama işlemi sırasında birbirleriyle eşleşir. Bir kasa içinde elektrik pimlerini çevresel etkenlerden korunur.



Şekil 3.7. Kuplör elektrik pimleri.

3.4.3.3 Elektrikli Lineer Aktüatör

Mekanik kuplörün her bir yanında bulunan aktüatör bağlantısına monte edilir. Bağlantı pimlerini bağlama ve ayırma işlemi sırasında ileri ve geri hareket ettirerek başlığı

yerine taşır. Doğrusal aktüatör, elektrikle veya pnömatik olarak etkinleştirilebilir. Elektrikli kuplörün manuel olarak çalıştırılması için bağlantıdan çıkarılabilir.

3.4.3.4 Elektrikli Kuplör Isıtıcısı

Elektrikli Kuplör Isıtıcısı, daha soğuk hava koşulları yaşayan kurumlarda kullanılır. Elektrikli ısıtıcı, elektrik pimlerini kurummasını ve donmasını önlemek için tasarlanmıştır.

3.4.3.5 Ethernet Bağlantı Mekanizması Hattı

Yük vagonlarında dijital otomatik kuplör vizyonu ile ethernet portları üzerinden veri girişleri entegre etmeye başlanacaktır. Böylelikle, büyük miktarda verinin iletilmesi daha kolay hale gelecektir. Ethernet bağlantıları, mevcut kuplör bağlantı kafasının yanına, üstüne veya altına takılabilir. Vagon üzerine yerleştirilecek sensörler ile veriler vagonların durumu, yük bilgileri ve trenin operasyonel parametreleri hakkında anlık veri sağlanmasını mümkün kılacaktır.

3.4.4. Pnömatik Bağlantı Bileşenleri

Araçlar hava hattı kuplörü aracılığıyla pnömatik olarak birbirine bağlanır. Hava hatları, frenleme ve diğer amaçlar için basınçlı hava taşır. Hatlar her zaman ön yüzde ve genellikle bağlantı kafasında bulunan koni ile huni arasında bulunur. Hatların ağız kısımları biraz dışarı çıkar ve birleşme sırasında karşıdaki kuplörün ağız kısmına bastırılır. Bir kuplörde ana hava hattı, ana hava deposu hattı ve ayırma hattı olmak üzere üç tür hava hattı kuplörü vardır.

BÖLÜM 4

4. YAPILABİLİRLİK ANALİZİ

4.1. PAZAR ANALİZİ

Yük vagonları, Avrupa Birliği üye devletlerinin ilgili ulusal araç kayıtlarına kayıtlıdır. 2023 yılı sonu itibari ile Avrupa’da 648.564 adet yük vagonu bulunmaktadır. En büyük yük vagonu filoları Almanya (183.800), Polonya (79.867) ve Fransa'da (71.425) kayıtlıdır [41].

Çok sayıda yük vagonu ve lokomotif ve yüksek yenileme maliyetleri göz önüne alındığında, dijital otomatik kuplörün AB çapında demiryolu yük taşımacılığına geçişi sektör için büyük bir zorluktur. Bu nedenle, pazar analizinin doğru yapılabilmesi önemlidir.

Bunun için öncelikle çeşitli parametrelerin belirlenmesi, maliyetlerin ve potansiyel faydaların belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle aşağıdaki parametreler belirlenmeli veya belirtilmelidir.

- Dönüşüm için yük vagonu sayısı
- Dönüşüm için lokomotif sayısı
- Dönüştürülebilir yük vagonlarının payı
- Yük vagonlarının yaş dağılımı
- Yeni yük vagonu sayısı
- Dönüşümler için atölye kapasitesi
- Dijital otomatik kuplörün ve hibrit bağlantı/otomasyon bileşenleri için tedarik maliyetleri
- Dönüşüm maliyetleri
- Üretim kapasiteleri dijital otomatik kuplör üreticisi
- Kullanım durumları ve potansiyel azalma

Dönüşümün merkezi Avrupa olduğu için pazar analizinin başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Regolamento Internazionale Veicoli (RIV), uluslararası demiryolu trafiğine ilişkin yasal düzenlemelerden biri olup, ilk kez 1922 yılında Avrupalı demiryolu şirketleri arasında kabul edilen, uluslararası kullanılabilir yük vagonlarına ilişkin bir anlaşmadır. 1 Temmuz 2006'da Yük Vagonlarının Kullanımına İlişkin Genel Anlaşma (GCU- General Contract of Use for Wagons) ile değiştirilmiştir. Ancak RIV sembolü hala uluslararası olarak kullanılabilen yük vagonlarını temsil etmektedir.

Avrupa'da, GCU'nun 679 sözleşmeli ortağı bulunmaktadır. Bu ortakların dağılımı şu şekildedir: 280 şirket yük vagonu işleticisi, 150 şirket demiryolu taşımacılık işletmesi ve 248 şirket ise kendi yük vagonlarına sahip olmayan demiryolu sözleşme ortağıdır. GCU sözleşmesi ortağı 430 vagon sahibinin 568.000 yük vagonu bulunmaktadır. Dijital otomatik kuplör geçişiyle ilgili toplam stokun 568.000 yük vagonu olduğu varsayılmaktadır [13].

Bir yük vagonunu dönüştürmenin ekonomik açıdan önemli ve anlamlı olması, bir yük vagonunun yaşı, kalan ömrü ve özellikle trafikle olan ilişkisi gibi temel kriterler arasında yer almaktadır. Avrupa'da yük vagonlarının yaklaşık %60'ı 30 yaşın üzerindedir [41]. Ancak, yük vagonu sahiplerinin iş değerlendirmelerinin, yük vagonlarının yaşına, kalan hizmet ömrüne ve kullanım aralığına bağlı olarak yapılması gerektiğinden, bu çalışma kapsamında böyle bir değerlendirme yapmak zordur. Vagonların %80 dönüşümü kabul edilirse bu sayı 432.000 yük vagonuna denk gelmektedir.

Yeni yük vagonlarının zamanla eski yük vagonlarının yerini alması ve demiryollarındaki yük taşımacılığının potansiyelin artması ile beraber her yıl imal edilen yeni yük vagonu sayısı da pazarda önemli rol oynayacaktır. Yeni yük vagonlarının eski vagonların yerini alması ve demiryollarındaki yük taşımacılığı potansiyelinin artmasıyla birlikte, her yıl inşa edilen yeni nesil yük vagonu sayısı da pazarda önemli bir rol oynamaktadır. 2009 ile 2018 yılları arasında verilere göre her yıl Avrupa'da ortalama 8.000 yük vagonu imal edilmiştir [41].

AB'deki yük vagonu sayısının belirlenmesine benzer şekilde, Avrupa'da demiryolu yük taşımacılığında da kaç lokomotifin kullanıldığı da belirlenmelidir. Demiryolu yük taşımacılığında kullanılan lokomotiflerinde dijital otomatik kuplör ile donatılması da gerekiyor. Lokomotiflerin geçiş sırasında hem dijital otomatik kuplörü yük vagonlarını hem de Kanca kavramalı kuplör tertibatı yük vagonlarını paralel operasyonda çekmesi gerektiğinden, bunların hibrit kuplör olarak adlandırılan bir bağlantıyla donatılması gerekmektedir.

Avrupa'da demiryolu yük taşımacılığında standart hat açıklığında kullanılan toplam 25.346 lokomotif bulunmaktadır [41]. Yük vagonlarına benzer şekilde burada da çeşitli nedenlerden dolayı (lokomotifin yaşı, kalan hizmet ömrü, kullanım aralığı vb.) tüm lokomotiflerin hibrit kavramayla donatılmadığı varsayılmaktadır. Dijital otomatik kuplörün geçişi sırasında lokomotif kullanımındaki esneklik kaybını en aza indirmek amacıyla Avrupa lokomotif filosunun %80'inin hibrit kavramayla donatılacağı tahmin edilmektedir. Bu da yaklaşık 20.277 lokomotive denk gelmektedir.

Türkiye'de vagon sayıları incelendiğinde, 16.523 adet vagon büyük ölçüde kamu iktisadi teşebbüsünün sahipliğindedir. 3.856 adet vagon ise özel sektördeki 3. şahıslara aittir ve Türkiye'de toplam 20.379 vagon bulunmaktadır [42]. Kamu bünyesinde bulunan yük vagonlarının yaşlarına göre dağılımı incelendiğinde; %10'u 40 yaşın üzerinde, %19'u 30-39 yaş arasında, %12'si 20-29 yaş arasında, %34'ü 10-19 yaş arasında ve %25'i ise 10 yaşın altındadır [43]. Ancak, yük vagonu sahiplerinin iş değerlendirmelerinin, yük vagonlarının yaşına, kalan hizmet ömrüne ve kullanım aralığına bağlı olarak yapılması gerektiğinden, bu çalışma kapsamında böyle bir değerlendirme yapmak zordur. Ayrıca vagonların büyük çoğunluğunun kamu iktisadi teşebbüsünün sahipliğinde olması nedeniyle %50'lik bir dönüşüm tahmin edilirse 8.261 vagona denk gelmektedir.

Türkiye'de 431 adedi dizel ve 125 adedi elektrikli olmak üzere toplam 556 adet ana hat lokomotifi kamu iktisadi teşebbüsünün sahipliğindedir. 5 adedi dizel ve 7 adedi hibrit (dizel-elektrikli) toplam 12 lokomotif ise DTİ'lerin sahipliğindedir. 568 ana hat lokomotifinin %70'lik kısmının dönüşümü ile 397 lokomotifin dönüşümü tahmin edilmektedir.

Türkiye’de 5 adet vagon üreticisi bulunmaktadır. Vagon üreticilerin yoğun çalıştığı Avrupa pazarı için milli bir dijital otomatik kuplör seçeneğinin bulunması yerli üreticilerin vagon pazarındaki rekabet gücünü artıracaktır. Avrupa’nın 2035 yılına kadar 20.000 adet yük vagon ihtiyacı olduğu tahmin edilmektedir. AYGGM kaynaklarına göre Türkiye’nin 2035 yılına kadar 26.000 yük vagonu 150 manevra lokomotif ve 600 adet ana hat lokomotifine ihtiyacı bulunmaktadır.

Yolcu vagonu için otomatik kuplör maliyeti 10.690 euro’dur. Rekabet ortamında fiyatın %35-50 azalmasını öngörülmektedir. Bu çalışma içerisinde tam otomatik kuplör maliyeti 5.000 euro olarak kabul edilmiştir. Her yük vagonu ve lokomotif için önce ve arkada olmak üzere iki adet bağlantı tertibatına gerek duyurmaktadır.

Avrupa pazarı içinde sadece dönüşüm için gerekli dijital otomatik kuplör ihtiyacının 900.000 adet olduğu ve pazarın 4,5 milyar euro olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktara Avrupa’nın ihtiyaç duyduğu yeni üretim yük vagonu sayısı eklenmemiştir.

Türkiye pazarında ise yaklaşık 17.500 adet dijital otomatik kuplör ihtiyacı olduğu ve pazarın 87,5 milyon euro olduğu tahmin edilmektedir. Ancak 2035 yılına kadar ihtiyaç olan dijital otomatik kuplör ile pazar ihtiyacı 355 milyon euro seviyelerine çıkmaktadır.

Bu çalışmada, dönüşümün merkezi Avrupa pazarı ve etkileri çerçevesinde Türkiye pazarı üzerinde durulmuştur. Asya-Avrupa arasındaki yük taşımacılığının demiryoluna kaydırılması amacıyla yapılan demiryolu koridoru yatırımları küresel bir dönüşümünde habercisidir. Dönüşümün uluslararası koridor içerisinde oluşturacağı zincir etkisi bu pazar analizi içinde sunulmamıştır.

4.2. EKONOMİK FAYDA ANALİZİ

Pazar payının tahmin edilmesinin yanı sıra dijital otomatik kuplörün potansiyel faydaları da dikkate alınmalıdır. Otomatik kuplörün kullanımından kaynaklanan durumla ve demiryolu yük taşımacılığının otomasyonuna yönelik dijital kullanım

durumlarını içeren iki tür yenilik getirmektedir. Ayrıca iş güvenliği, personel alımı, enerji tasarrufu ve yeni pazar segmentlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda da potansiyel bulunmaktadır.

Bağlantı işleminin otomatikleştirilmesi, birleşme ve ayırma işlemi sırasında zaman tasarrufu sağlayacaktır. Mevcut sistemde vidalı bağlantılara sahip yük vagonları için çok fazla çalışma süresi gereklidir. Manuel bağlantı hizmetlerinin ortadan kaldırılması, manevra personeli için personel maliyetlerinin azalmasına yol açar.

Almanya'da yapılan bir araştırmada tren işletmeciliğinde trenlerin ayrılması ve birleştirilmesi için gerekli operasyonların otomatikleştirilmesinin 700.000 çalışma saati tasarrufu sağlayabileceği tahmin edilmektedir. Bu durumda, yıllık 25 ila 35 milyon avro arasında bir tasarruf potansiyeli bulunmaktadır [13].

Demiryolu yük taşımacılığında manevra süreçlerinin hızlandırılması ve sistem hızının artırılması, vagonların verimli kullanımını artıracaktır. Ayrıca, manevra tesislerinin kapasitesinin daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Bu durum ayrıca gerekli lokomotif personel ve altyapı kaynaklarının azalması anlamına gelmektedir.

Daha yüksek çekme kancası limit yükünden faydalanarak daha uzun trenlerin kullanılmasıyla demiryolu operasyonlarında verimliliği artırmak mümkündür. Otomatik kuplör ve elektro-pnömatik fren kullanıldığında, 1000 metreyi geçen trenler kontrol edilebilecektir. Güçlendirilmiş vidalı kuplörler de katar ağırlıkları 2.145 ton ile sınırlıdır. Otomatik kuplör ile katar ağırlıkları 5.130 tona kadar ulaşabilir. Bu durum, otomatik kuplör ve çift lokomotif ile birlikte üretkenlikte önemli artışlar elde edilebileceği anlamına gelir. Bununla birlikte, tren uzunluğu da sınırlayıcı bir faktördür ve Avrupa ve Türkiye'deki altyapının aşırı uzun trenlere ve yüksek tonajlara uyum sağlayamaması nedeniyle sınırlı kullanım alanına sahiptir. Ancak, otomatik kuplör ve çift cer kullanıldığında, uzunluk kısıtlamalarına uyulabilir ve özellikle dökme ürünlerde daha fazla yük taşınabilir. Bu çalışma kapsamında, kullanım senaryosunun potansiyelinin kesin olarak hesaplanması mümkün olmasa da faydanın yüksek düzeyde olacağı varsayılmaktadır.

Dijital otomatik kuplör, güvenilir enerji tedariki ve güvenli veri iletişimi sağlayarak Akıllı Yük Treni vizyonuna doğru yapılan otomasyon adımına katkıda bulunmaktadır.

Sensörler aracılığıyla, yük vagonundaki bileşenlerin aşınması/arızası izlenebilir ve duruma dayalı bakım uygulanabilir. Bugün, telematik cihazları genellikle pillerle beslenmektedir. Güvenlikle ilgili bilgilerin kablosuz olarak iletilmesi amaçlanmaktadır. Bir otomatik kuplörlerin, lokomotiften sürekli ve yeterli bir güç kaynağı ile kesintisiz olarak sağlanan bir enerji hattı sayesinde, istenilen kadar telematik uygulaması ve sensör kullanılabilir. Bu nedenle yük vagonu bileşenlerinin durumunu sensörlerle izleme olanakları önem arz etmektedir. Özellikle tren konvoyunda bir raydan çıkma hakkında zamanında alınan bilgiyle hasarın minimize edilmesi hem demiryolu hattının operasyonel sürdürülebilirliği ve vagon dizisinin sağlığı açısından çok önemlidir. Güvenlikle ilgili bilgiler veri yolu aracılığıyla lokomotif makinistine iletilir.

Lokomotif makinistlerinin trenin kalkışından önce el frenlerini çözmeleri gerekmektedir. Bununla birlikte, işletme uygulamasında el freni çekili veya seyir halinde bir yük vagonunun fren bloğu takılı kalmış olması olasıdır. Bu durumda, tekerlek takımında düzleşmeler oluşur ve demiryolu hattı zarar görebilir. Ayrıca, frenleme sırasında, hava hattının son vagona kadar yeniden doldurulması için yeterli zamanın sağlanamaması durumunda da olabilir. Bu şekilde, tren hareket ettirilirken, belki de hala trenin sonundaki araçlar frenlenmiş olabilir. Frenler ve el frenleri üzerindeki sensörler aracılığıyla, yukarıda bahsedilen olayların önlenmesi ve bu sayede aracın arıza ve bakım maliyetlerinin azaltılması mümkündür.

Tekerlek takımının aşırı ısınması, tekerlek takımlarının yatakları, kritik sınırların aşıldığı veya aşılmadığı kontrol edilebilir. Bir bileşen arızası meydana gelmeden önce, proaktif bir şekilde hareket edilebilir ve bileşen bir atölyede kontrol edilip gerekirse değiştirilebilir. Ayrıca bakım faaliyetleri de takibi kolaylaşır. Plansız vagon arızaları azaltılabilir. Bu kullanım durumunun çeşitli uygulama alanlarının fayda potansiyelinin kesin bir şekilde değerlendirilmesi bu çalışma kapsamında mümkün değildir. Ancak, bu kullanım durumunun daha yüksek bir fayda potansiyeline sahip olduğu varsayılmaktadır.

Belirli taşımalarda, yük vagonları yüklenmeden sonra bir ray tartısından geçirilir ve vagonun veya yükün ağırlığı belirlenir. Bazen aşırı yüklenme tespit edilir ve vagon kısmen boşaltılmalıdır. Aşırı yüklenme durumunda araç tamamen boşaltılmalı ve bir atölyeye götürülmelidir. Yükleme sırasında ağırlık sensörleri kullanılarak maksimum yükleme ağırlığına ulaşıldığında sinyal verilmesi düşünülebilir. Bu, yukarıda belirtilen sürecin ortadan kalkmasını sağlayabilir. Ayrıca, seyahat sırasında bir yükün kayıp olduğu tespit edilebilir. Bu durumda proaktif olarak müdahale edilebilir. Bu kullanım orta derecede bir fayda potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir.

ETCS-Level 3'ün tanıtılması, demiryolu altyapısında belirgin kapasite etkilerine yol açacaktır. Raylardaki serbest bırakma sistemlerinin veya dingil sayıcıların kaldırılması, ray kenarı tesislerinin bakım ve muhafazasında yüksek tasarruf potansiyelleri sağlayabilir. Yukarıdaki tesislerin kaldırılması için gerekli olan şart, ancak yük trenlerinin de araç içinde otomatik bir tren bütünlüğü kontrolü yapabilmesine bağlıdır. Tren bütünlüğü kontrolü, yüksek güvenlik gereksinimlerini karşılamalıdır. Olası bir tren ayrılması durumunda teşhis ve bildirim, DAK ile bağlanan bir veri hattı üzerinden gerçekleştirilebilir bir tren bütünlüğü kontrolünün tanıtılması durumunda, demiryolu altyapısındaki ray devreleri ve dingil sayıcılarının artık gerekmeyeceğini öne sürmektedir. Bu kullanım durumunun yüksek bir fayda potansiyeline sahip olduğu varsayılmaktadır.

Elektropnömatik fren kullanımında, freni tetiklemek için sinyal hava hattı üzerinden değil elektriksel olarak iletilir. Elektrik sinyali neredeyse aynı anda bir yük treninin tüm vagonlarına ulaşır ve tüm yük vagonları aynı anda fren yapar. Saf pnömatik bir frende hava hattındaki hava yaklaşık 270 m/s hızla hareket eder. Özellikle uzun yük trenlerinde, vagonlar trenin sonunda önünde veya ortasında olanlardan daha geç fren yapar. Bu nedenle 140 km/s üzerindeki hızlarda, geleneksel hava basınçlı fren kullanılamaz. Tüm araçların tren birleşiminde eşit şekilde fren yapmasıyla tüm frenler ve tekerlek takımları eşit şekilde yüklenir. Buna karşılık, geleneksel hava basıncına dayalı fren kullanımında, özellikle ön tren kısmındaki araçlarda frenlerin daha yüksek yüklenmesi meydana gelir. Bu, fren balatalarının ve tekerlek takımlarının artan aşınmasına neden olur. Elektropnömatik fren kullanımında, tüm vagonlar fren konumu

"P" de çalıştırılabilir. Bu şekilde, tren fren konumu "G" de iken 90 km/s yerine 100 km/s hızla hareket ettirilebilir. Bu, altyapıda hat üzerindeki akışı artırır ve dolayısıyla kapasiteyi artırır. Bu kullanım yüksek bir fayda potansiyeli olduğu tahmin edilmektedir.

Trenin kalkışından önce, frenlerin işlevselliğini kontrol etmek için bir fren testi yapılmalıdır. Yük trenlerinde fren testi, trenin kalkışından önce ve değişmeden bırakılan trenler için her gün bir kez veya trenin 24 saatten fazla süreyle park edilmesi durumunda mutlaka yapılmalıdır. Trenin içine veya dışına yük vagonları yerleştirilirken de bir fren testi yapılmalıdır. Bir tam fren testi veya basitleştirilmiş fren testine ihtiyaç olup olmadığına bağlı olarak bir fren testi yaklaşık 15 ila 45 dakika sürer. Almanya'da yapılan bir araştırmada elektropnömatik fren kullanımında yaklaşık olarak yıllık 50 ila 60 milyon euro arasında bir tahmini fayda potansiyeli ortaya çıkmıştır [13].

Manevra sahalarında otomatik kuplör ile elektropnömatik fren operasyonel süreçleri için Dresden Teknik Üniversitesi'nin yaptığı fren testlerinin simülesinde manevra sahalarının kapasitesi yaklaşık %40 ve taşıma planlarının güvenilirliğini yaklaşık %50'den fazla artırdığı, toplam taşıma süresini yaklaşık %8 azalttığı belirtmiştir. Yukarıdaki simülasyon sonuçlarına dayanarak, daha yüksek sistem hızı nedeniyle Almanya'da yılda yaklaşık 20 ila 25 milyon euro civarında bir potansiyel sonuç beklenmektedir [13].

Otomatik bir orta tamponlu kuplajın kullanımının, tekerlek takımlarında ve demiryolu altyapısında daha az aşınma sağlayabileceğini öne sürmektedir. Bu, bir vidalı kuplajla karşılaştırıldığında tekerlek ve ray arasındaki yanal kuvvetlerin üç ila beş kat azaltılabileceği gerçeğine dayandırılmaktadır. Dolayısıyla, tekerlek ve rayın aşınması da azalır. Buna göre, bakım maliyetlerinde tasarruf sağlandığı varsayılabilir [44].

Yük vagonlarının bağlantılarının manuel olarak yapılması gerektiğinden, bir manevra işçisi faaliyeti sırasında iki araç arasında bulunur. Otomatik kuplörlerin kullanımıyla, manevra personelinin güvenlik önlemleri almak için vagonların arasındaki alanına

girmesi gerekmez. Bu, iş güvenliğinin artmasına ve rayda iş kazalarının önlenmesine veya azaltılmasına yol açar.

4.3. DEVLET DESTEKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dijital otomatik kuplör projesi, demiryolu yük taşımacılığında kritik bir yenilik sunmaktadır. Bu nedenle projenin hem ticari hem de stratejik önemi bulunmaktadır.

Devlet desteklerinin bu proje üzerindeki etkisi iki ana başlık altında incelenmelidir. Dijital otomatik kuplör projesini ilgili kamu kurumlarının projeyi tanınması hem finansal hem de teknik destek sağlaması açısından kritik öneme sahiptir. Kamu desteği olmadan, projenin ilerlemesi ve uygulanabilirliği ciddi şekilde kısıtlanabilir.

Bunlardan ilki bu kapsamda bir projenin ilgili kamu kurumları tarafından tanınması ve desteklenmesidir. Dijital otomatik kuplör projesinin gerçek dünya koşullarında test edilmesi, ürünün güvenilirliği ve performansının değerlendirilmesi açısından kritiktir. Bu testler, demiryolu hatlarında yapılmalıdır ve bu tür altyapıların sağlanması, kamu kurumlarının desteği olmadan mümkün değildir. TCDD, proje için gerekli altyapıyı sağlayabilecek en önemli kurumlardan biridir. TCDD ile yapılacak iş birliği, proje için gerekli hatların ve test alanlarının kullanılabilmesini sağlayacaktır. Bu iş birliği, projenin hızla ve etkin bir şekilde ilerlemesine olanak tanır.

Devlet tarafından projenin geliştirilmesi ve uygulanabilirliğinin artırılması için sağlanan ikinci kısım teşvikler ve hibe programlarıdır. Türkiye’de sanayi ve teknoloji alanında verilen destekler, yerli üretimin artırılması ve teknoloji tabanlı yeniliklerin teşvik edilmesi amacıyla önemli rol oynamaktadır.

4.3.1. Ulusal Teşvik ve Hibe Programları

Türkiye’de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ve bağlı kuruluşları olan KOSGEB ile TÜBİTAK, ülkenin ekonomik ve teknolojik kalkınmasına katkıda bulunmak amacıyla çeşitli destek programları sunmaktadır. Sağlanan destekler, Ar-Ge faaliyetleri, inovasyon projeleri ve girişimcilik faaliyetlerini kapsamaktadır. Bu destekler,

sanayinin rekabet gücünü artırmayı ve katma değeri yüksek ürünlerin üretilmesini amaçlamaktadır. Desteklerin etkili kullanımı, Türkiye'nin küresel piyasalarda daha güçlü bir konum elde etmesine katkı sağlamaktadır.

4.3.1.1 Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı

KOSGEB, Türkiye'deki Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri (KOBİ'ler) destekleyerek ekonomik büyümeyi teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Kurum, KOBİ'lerin rekabet gücünü artırmak, inovasyonu teşvik etmek ve sürdürülebilir büyümeyi desteklemek için çeşitli hibe ve kredi programları sunar.

Destek Programları

1. **Girişimcilik Destek Programı:** Yeni iş kurmak isteyen girişimcilere yönelik eğitim, danışmanlık ve finansal destek sağlar.
2. **KOBİ Gelişim Destek Programı (KOBİGEL):** KOBİ'lerin proje bazlı olarak geliştirilmesini teşvik eden hibe destek programıdır.
3. **Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı:** KOBİ'lerin Ar-Ge ve inovasyon projelerini destekleyerek rekabet avantajı sağlamalarını hedefler.
4. **Finansman Destek Programı:** KOBİ'lerin finansmana erişimini kolaylaştırmak amacıyla kredi faiz desteği sağlar.

KOSGEB desteklerinden faydalanmak için işletmelerin belirli kriterlere uyması gerekmektedir. Genellikle KOBİ statüsünde olmak temel şartlardan biridir. Ayrıca, destek programlarına başvuru sırasında projelerin belirli bir aşamaya gelmiş olması ve KOSGEB tarafından belirlenen öncelikli sektörlerde faaliyet göstermesi avantaj sağlar.

4.3.1.2 Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

TÜBİTAK, Türkiye'de bilim ve teknolojiyi teşvik etmek, bilimsel araştırmaları desteklemek ve bu yolla ülkenin rekabet gücünü artırmak amacıyla kurulmuştur. TÜBİTAK, üniversiteler, araştırma kurumları ve özel sektör ile iş birliği yaparak bilimsel ve teknolojik projelere destek verir.

Destek Programları

1. **1001 - Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı:** Bilimsel ve teknolojik araştırma projelerine yönelik hibe desteği sağlar.
2. **1501 - Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı:** Özel sektör firmalarının Ar-Ge projelerini destekleyen bir programdır.
3. **1512 - Bireysel Genç Girişim (BİGG) Programı:** Yenilikçi iş fikirlerine sahip genç girişimcilere destek verir.
4. **TÜBİTAK TEYDEB Programları:** Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı (TEYDEB) aracılığıyla sanayi kuruluşlarının Ar-Ge ve yenilik projelerine finansal destek sağlar.

TÜBİTAK desteklerinden yararlanmak için projelerin bilimsel ve teknolojik açıdan yenilikçi olması, belirli bir araştırma metodolojisi ile yürütülmesi ve sonuçlarının ülke ekonomisine veya bilim dünyasına katkı sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir. Başvuru süreçleri genellikle detaylı bir proje önerisi ve değerlendirme aşamalarını içerir.

4.3.1.3 Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kümelenme Destek Programı

Türkiye'de sanayi ve teknolojinin gelişimini desteklemek amacıyla Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Ar-Ge Teşvikleri Genel Müdürlüğü tarafından oluşturulmuş bir destek programıdır. Bu program, benzer veya birbirini tamamlayıcı ürün ve hizmet üreten işletmelerin belirli bir bölgede toplanarak sinerji yaratmalarını ve ortak hedefler doğrultusunda iş birliği yapmalarını teşvik eder.

Kümelenme Destek Programı'nın temel amacı, sektörel kümelenmelerin oluşmasını ve gelişmesini destekleyerek, rekabet gücünü artırmak ve yenilikçiliği teşvik etmektir. Program, işletmelerin ortak sorunlarına çözümler üretmek, ortak projeler geliştirmek ve uluslararası pazarlarda rekabet edebilirliklerini artırmak için iş birliklerini teşvik etmektedir.

Kümelenme Destek Programı, işletmelere eğitim, danışmanlık, altyapı, ortak kullanım tesisleri, Ar-Ge ve inovasyon projeleri ile uluslararasılaşma alanlarında destek sunar.

Bu destekler, işletmelerin yönetim ve teknik kapasitelerini artırmayı, ortak kullanım tesislerinin geliştirilmesini, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerini teşvik etmeyi ve uluslararası pazarlara açılmayı hedefler. Bunlar arasında eğitim programları, laboratuvarlar, Ar-Ge projeleri ve uluslararası fuarlara katılım gibi geniş destek alanları yer almaktadır. Bu program, kümelenmelerin rekabet gücünü artırmayı ve sürdürülebilir büyümeyi desteklemeyi amaçlar.

Kümelenme birlikteliğinin kurulabilmesi için birbirleri ile ilgili veya ilişkili sektör veya konularda faaliyet gösteren en az 20 firmanın ana birliktelik içinde yer alması zorunludur. Program desteği kapsamındaki alt iş paketlerinde ise firma sayı şartı bulunmamaktadır. Kümelenme destek programı herhangi bir bütçe üst limit bulunmamaktadır. Bakanlık tarafından sağlanacak geri ödemesiz destek oranı KDV hariç %70'tir. Yerli Malı Belgesi bulunan makine ve teçhizatın satın alınması durumunda ilgili harcamaya ilişkin destek oranına ayrıca %15 ilave edilir.

4.3.1.4 Uygun Olan Destek Programının Değerlendirilmesi

KOSGEB ve TÜBİTAK, Türkiye'nin ekonomik ve teknolojik kalkınmasına katkıda bulunmak amacıyla farklı hedef kitlelere ve projelere yönelik destekler sunarlar. KOSGEB, özellikle KOBİ'ler ve girişimciler için pratik destekler sağlarken, TÜBİTAK bilimsel ve teknolojik araştırmalara odaklanarak daha detaylı ve yenilikçi projelere finansal destek sunar. Kümelenme destek programı belirli sektörlerdeki firmalar arasında iş birliğini artırarak daha geniş destek paketleriyle uluslararası rekabet gücünü artırmayı hedefler. Farklı kategorideki firmalar için birçok farklı destek paketi kümelenme destek programı altında tek bir program altında toplanarak sunulmuştur. Ulusal teşvik ve hibe programlarının kıyas tablosu tablo 4.1'de sunulmuştur.

Özellik	KOSGEB	TÜBİTAK	Kümelenme Destek Programı
Amaç	KOBİ'lerin gelişimi ve rekabet gücü	Ar-Ge ve yenilikçi projelerin desteklenmesi	Sektörel iş birliği ve Uluslararası rekabetin artırılması
Destek Türleri	Geri ödemesiz, geri ödemeli	Geri ödemesiz, teknoloji transferi	Geri ödemesiz, yatırım desteği, teknoloji transferi, ortak kullanım tesisleri, uluslararası faaliyetler
Destek Miktarı	%60-70 geri ödemesiz, geri kalan geri ödemeli, üst limitli	%60-75 geri ödemesiz üst limitli	KDV hariç %70 geri ödemesiz üst limitsiz
Hedef Kitle	KOBİ'ler	Ar-Ge yapan işletmeler	Belirli sektörlerdeki kümelenme firmaları
Özel Şartlar	Proje bazlı	Proje bazlı, iş birliği teşviki	Kümelenme faaliyetleri

Tablo 4.1. Ulusal teşvik ve hibe programları kıyas tablosu.

Geniş konsorsiyum yönetimi altında yürütülecek olan yük vagonları için dijital otomatik kuplör geliştirme projesi, devlet destekleri arasında bütçe üst limiti olmayan ve gerekli yatırımlar için geniş destek çeşitliliğine erişim sağlayan kümelenme destek programına uygunluğu ile öne çıkmaktadır. Projenin uluslararası pazarlara açılma hedefleri göz önünde bulundurulduğunda, bu kümelenme destek programı en uygun seçenek olarak belirlenmiştir.

4.4. TEKNİK ANALİZ

Türkiye’de dijital otomatik kuplör tasarımı ve üretiminin de ihtiyaç duyulan kaynakların, teknolojilerin ve uzmanlıkların doğru belirlenmesi proje bütçesinin verimli ve tasarruflu kullanılması açısından önemlidir. Tasarımı ve üretimi için gerekli olan teknolojik altyapılar, Türkiye'deki mevcut tesislerde bulunmaktadır. Bu altyapıların etkin bir şekilde kullanılması, ek yatırım maliyetlerini ortadan kaldırarak bütçenin verimli kullanılmasına olanak tanır. Mevcut altyapının avantajlarından yararlanarak, yüksek kaliteli ve güvenilir otomatik kuplörler üretmek mümkündür.

Proje kapsamında ek bir yatırım gerektirmeden mevcut teknolojik altyapıları içinde kendi uzmanlıkları içinde yönetilecek firmaların seçimi yapılmıştır. Bu firmalar hem maliyete etkin çözümler sunacak hem de proje süreçlerini hızlandıracaktır. Doğru

firmaların seçilmesi, projenin her aşamasında kalite ve verimlilik standartlarının korunmasını sağlayacaktır.

4.4.1. Kuruluşun Projede Rolü: Sistem Tasarımcısı ve Entegratörü

Kuruluş Adı: *****

İl: Kayseri

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Demiryolu araçları alt sistemleri ve bakım/atölye makineleri, Raylı Sistemler Sektörü,

Kuruluşun güçlü yönleri ve uzmanlık alanları: Ar-Ge ve ürün geliştirme, raylı sistem araç ve alt sistem tasarım kabiliyeti, global müşteri ağına sahip olma, PMI sertifikalı proje yönetimi, kalite yönetim sistemi, test ve sertifikasyon, proje yönetimi,

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: Talaşlı imalat, kaynaklı imalat, sistem tasarımı, yazılım, tahribatlı ve tahribatsız test hizmeti,

Geçmiş Proje Deneyimleri: Gebze Sürücüsüz Metro Aks Kutusu Projesi, BO'54 Esnek Tekerleği Projesi, Kumlama Sistemi Projesi Milli EMU Merkez Pivot Projesi, VIP Yolcu Treni Aks Kutusu Projesi, Trolley Projesi, Mobil Kum Dolum Aracı Projesi,

Kalite Standartları ve Sertifikalar: IRIS (ISO22163), ISO 9001, EN 15085, ISO 3834, ISO 14001, ISO 45001

4.4.2. Kuruluşun Projede Rolü: Analiz – Simülasyon -Test Sistemlerinin İmalatı

Kuruluş Adı: *****

İl: Bursa

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Bilgisayar destekli tasarım (CAD), bilgisayar destekli mühendislik (CAE), sonlu elemanlar analizleri (FEA), test ve ölçüm hizmetleri, özel test makinaları geliştirilmesi, imalatı ve devreye alınması konularında uzmandır. Firmamız savunma ve havacılık, raylı sistemler, otomotiv, makine sektörleri

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: Tecrübeli mühendislik kadrosu tasarım faaliyetleri, tasarımların doğrulanması süreçlerindeki analiz faaliyetleri, ürünün testlerinin

gerçekleştirileceği test cihazlarının tasarımı, imalatı ve devreye alınması 2 adet CAD programı, 2 adet CEA yazılımı,

Geçmiş Proje Deneyimleri: Yük vagonu geliştirme projelerinde mühendislik hizmetleri, tramvay geliştirme projelerinde mühendislik hizmetleri, metro geliştirme projelerinde mühendislik hizmetleri, hızlı tren geliştirme projelerinde mühendislik hizmetleri, ASELSAN, TAI, TEI gibi firmalara özel test cihazları AR-GE faaliyetleri,

Kalite Standartları ve Sertifikalar: ISO9001, ASELSAN Onaylı Alt Yüklenici Sertifikası, Savunma Sanayi Başkanlığı (SSB) Onaylı Firması

4.4.3. Kuruluşun Projede Rolü: Döküm İmalatçısı

Kuruluş Adı: *****

İl: Malatya

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Çelik ve Sfero Döküm, Sektörler: Maden, Enerji, Çimento, Raylı Sistemler ve Makina yedek parça imalatı,

Kuruluşun güçlü yönleri ve uzmanlık alanları: Yüksek alaşımlı Çelik, Aşınmaya ve yüksek sıcaklığa dayanıklı ürünler,

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: 2 adet Döküm simülasyon programı ,2 adet CAD ve CAM Yazılım programı, Faro Arm ölçüm ve lazer tarama, Mekanik ve Metalografik laboratuvar, Lostfoam Döküm teknolojisi, yıllık 4000 ton döküm,

Kalite Standartları ve Sertifikalar: ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001

4.4.4. Kuruluşun Projede Rolü: Dövme İmalatçısı

Kuruluş Adı: *****

İl: İzmir

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Otomotiv, makine, enerji, savunma sanayi, tarım makinaları ve havacılık için dövülmüş, ısıl işlem yapılmış, işlenmiş yedek parça imalatı

Projeye katkı sağlayacak kaynaklar: Dövme Kalıbı tasarımı ve üretimi, Dövme konusunda yüksek Know How seviyesi ve tecrübe, güçlü işletme sermayesi, güçlü ve teknolojik makine parkı, etkin ve tecrübeli insan kaynağı

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: Makineler ve test cihazları ile mühendislik alt yapısı,

Geçmiş Proje Deneyimleri: KOSGEB KOBİGEL Projesi 2021-2022 yılları arasında tamamlandı.

Kalite Standartları ve Sertifikalar: IATF 16949, ISO 9001, EN 15085, ISO 3834, ISO 14001, ISO 45001

Kuruluşun Projede Rolü: Darbe Sönümleyici Elastomer İmalatçısı

Kuruluş Adı: *****

İl: İstanbul

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Kauçuk metal birleşimli ürünler (iş makineleri ve raylı sistem süspansiyon parçaları vb.)

Kuruluşun güçlü yönleri ve uzmanlık alanları: Uygun maliyetli çözümler, Ar-Ge ve Test imkânlarımız, FEA Analiz, Raylı Sistemler Süspansiyon Parça üretimi uzmanlık alanı,

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: 250 kN Statik Test makinesi, Enjeksiyon Presler, Kompres Hidrolik Presler, Kauçuk test cihazları, 3 Boyutlu Kordinat Ölçer, Reometre
Geçmiş Proje Deneyimleri: İstanbul Yeni Havalimani Metro Projesi Kuplör Efg Tampon,

Kalite Standartları ve Sertifikalar: IRIS (ISO22163), ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001

4.4.5. Kuruluşun Projede Rolü: Elektronik Birleşenler

Kuruluş Adı: *****

İl: İstanbul

Kuruluşun ana faaliyet alanı ve sektörü: Demiryolu araçları alt sistemleri ve bakım/atölye makineleri, Raylı Sistemler Sektörü,

Kuruluşun güçlü yönleri ve uzmanlık alanları: Ar-Ge ve Ürün geliştirme, Raylı sistem araç ve alt sistem tasarım kabiliyeti,

Teknolojik Altyapı ve Kapasite: Otomasyon sistemleri, elektronik birleşen üretimi MIL STD 810, EN 50155, RTCA DO160, EN 60068 standartları gereksinimlerini karşılayan üretim tesisi, fonksiyonel test laboratuvarı,

Geçmiş Proje Deneyimleri: Hafif raylı araçlar için tasarlanmış 6x120kw gücünde yüksek frekanslı ve paralelenebilir ana konvertör, E5000 Milli elektrikli lokomotif geliştirme projesi, Medikal Solunum Cihazı AR-GE ve üretimi ,

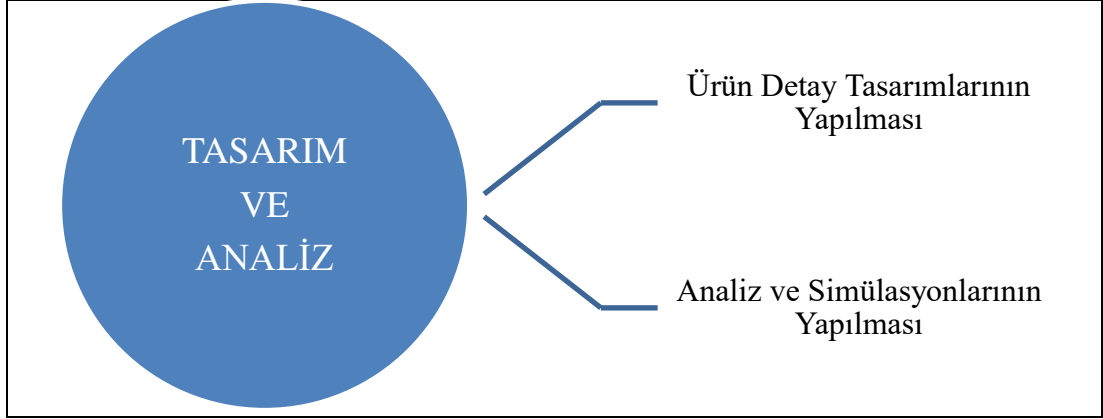
Kalite Standartları ve Sertifikalar: ISO 9001, EN 15085, ISO 3834, ISO 14001, ISO 45001, TSI

4.5. PROJE YÖNETİMİ VE UYGULAMA PROGRAMI

Dijital otomatik kuplör projesinin birinci yılı, projeye dair temel gereksinimlerin belirlenmesi, tasarım süreçlerinin tamamlanması ve ilk prototipin üretimi için gerekli çalışmaların yapılması açısından kritik bir dönemdir.

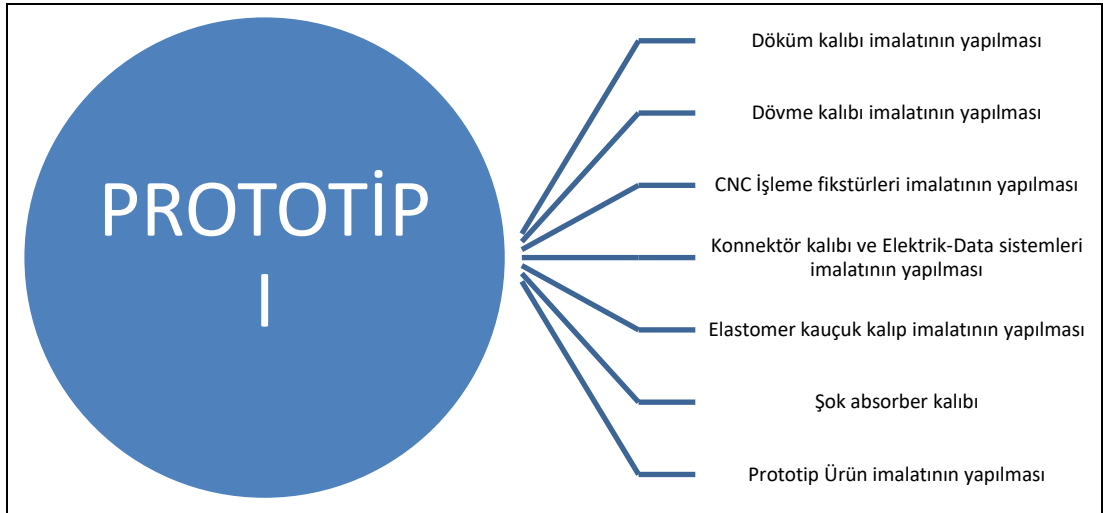
Şekil 4.1’de gösterildiği üzere projenin başlangıç aşamasında tasarım ve analizlerden doğru sonuçların alınması projenin devamlılığı için çok önemlidir. Bu kapsamda otomatik kuplörün tasarımı için gereken tüm gereksinimlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereksinimler, otomatik kuplörün kullanım alanlarına göre gerekli işlevsel özelliklerin tanımlanması, ilgili endüstri standartlarına uyum sağlamak için teknik gereksinimlerin belirlenmesi, güvenli çalışma koşullarını sağlamak için gerekli güvenlik önlemlerinin ve özelliklerinin belirlenmesi içermelidir. Belirlenen gereksinimlere göre otomatik kuplörün tasarım süreci başlatılacaktır. Bu süreç, farklı tasarım alternatiflerinin oluşturulması ve bu alternatiflerin değerlendirilmesi, seçilen tasarımın detaylandırılması, mekanik ve elektronik bileşenlerin belirlenmesi ve detaylı tasarımın CAD yazılımları kullanılarak 3D modelinin oluşturulmasıdır.

Tasarım sürecinin bir parçası olarak, çeşitli analizlerin yapılması gerekmektedir. Bilgisayar destekli bu analizler, tasarımın doğrulanması ve performansının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Mekanik bileşenlerin yük taşıma kapasitesi ve dinamik davranışlarının analizi ile elektronik bileşenlerin ısı yönetimi ve soğutma gereksinimlerinin değerlendirilmesi, sistemin uzun vadeli performans ve güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kritik rol oynar.



Şekil 4.1. Tasarım ve analiz süreçleri.

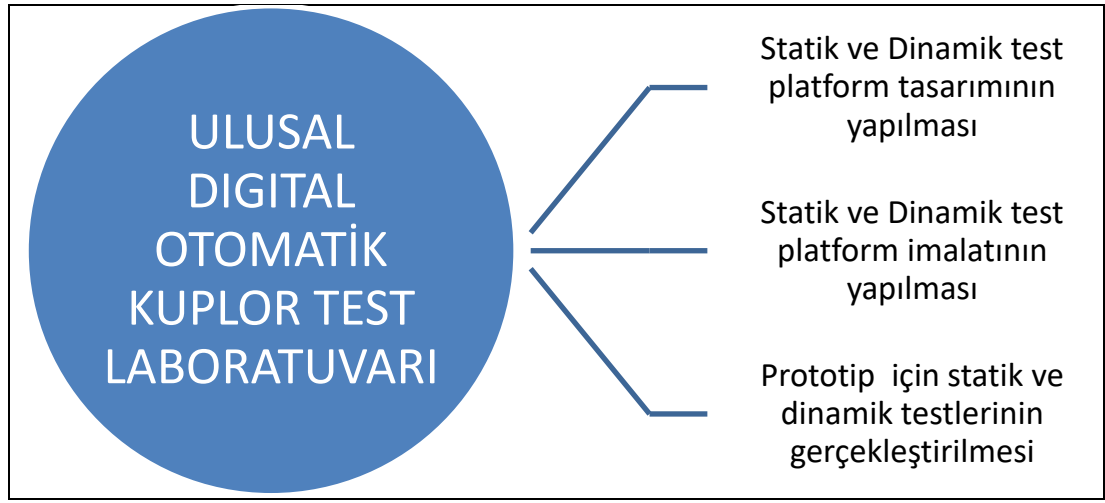
İlk prototipin üretimi için, öncelikle tasarımın üretime uygun hale getirilmesi ve gerekli malzeme ve bileşenlerin tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu süreç şekil 4.2’de gösterilmiştir. Üretim planlaması kapsamında, üretim süreci için gerekli adımların belirlenmesi ve zaman planının oluşturulması önemlidir. Ardından, malzeme ve bileşen temini süreci başlar, bu aşamada tedarik zincirinin sağlıklı işlemesi büyük önem taşır. Son olarak, montaj ve entegrasyon aşamasında, tüm bileşenlerin bir araya getirilerek ilk prototipin montajı gerçekleştirilir, bu adım ürünün işlevselliğini ve uyumluluğunu test etmek için kritiktir.



Şekil 4.2. Prototip süreçleri.

İlk prototipin performansının test edilmesi için laboratuvar test sistemi tasarlanmalı ve üretilmelidir. Bu süreç, öncelikle test gereksinimlerinin belirlenmesiyle başlar; burada

test edilecek parametreler ve performans kriterleri tanımlanır. Ardından, belirlenen gereksinimlere uygun olarak test sistemi tasarlanır; bu tasarım sürecinde testin yapılacağı ortamın özellikleri ve ölçüm gereksinimleri dikkate alınır. Tasarımın tamamlanmasının ardından, test sistemi imalat aşamasına geçilir; burada tasarlanan sistemin parçaları üretilir ve monte edilir. Son olarak, test sistemi kurulur ve kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilerek testlere hazır hale getirilir. Bu aşamaların titizlikle yürütülmesi, prototipin doğru şekilde test edilmesi ve performansının değerlendirilmesi için önemlidir. Bu süreç tablo 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ulusal dijital otomatik kuplor test laboratuvarı.

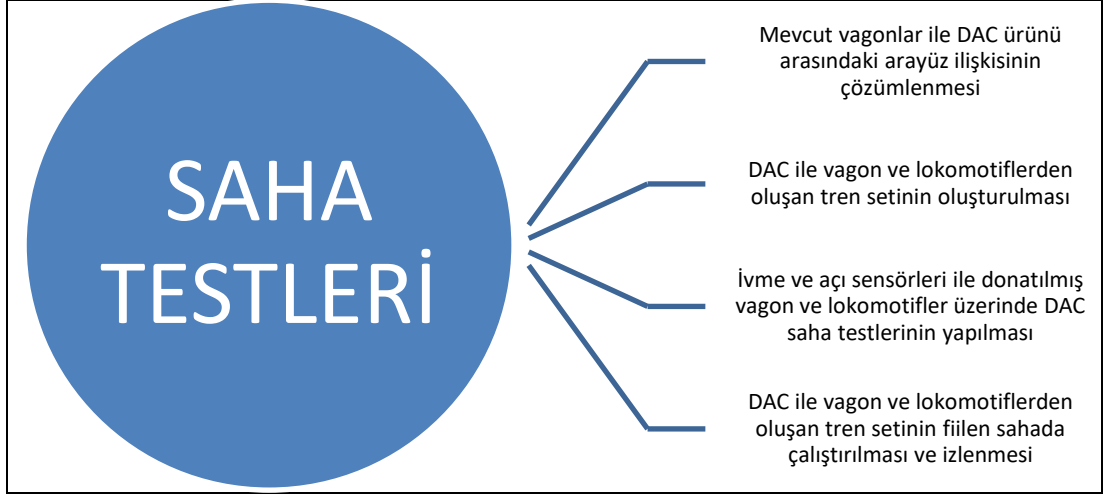
Dijital otomatik kuplör projesinin birinci yılında gerçekleştirilecek faaliyetler, projenin temel taşlarını oluşturacaktır. Gereksinimlerin belirlenmesi, tasarım ve analiz süreçlerinin tamamlanması, ilk prototipin üretilmesi ve laboratuvar test sisteminin kurulması, projenin başarısı için kritik adımlardır. Bu faaliyetlerin başarılı bir şekilde tamamlanması, projenin sonraki aşamalarının da planlandığı şekilde ilerlemesini sağlayacaktır.

Projenin ikinci ve üçüncü yıllarında, ilk prototipten elde edilen geri bildirimler doğrultusunda prototip üretimlerine devam edilecektir. Bu süreçte, tasarım iyileştirmeleri ve optimizasyon çalışmaları yapılacak ve saha testleri için hazırlıklar tamamlanacaktır.

İlk yılın sonunda elde edilen veriler ve analiz sonuçlarına dayanarak, tasarımda gerekli iyileştirmeler yapılacak ve ikinci yılın başında yeni prototipler üretilecektir. Geri bildirim analizi sürecinde, ilk prototipten elde edilen veriler detaylı bir şekilde incelenerek tasarımda yapılacak iyileştirmeler belirlenecektir. Ardından, bu iyileştirmeler tasarım sürecine entegre edilerek prototip iyileştirme aşamasına geçilecek ve yeni prototipler üretilecektir. Üretilen yeni prototipler, laboratuvar testlerinden geçirilerek performansları değerlendirilecek ve tasarımın istenilen hedeflere uygunluğu kontrol edilecektir. Bu süreç, ürünün sürekli olarak geliştirilmesi ve optimize edilmesi için önemli bir adımdır.

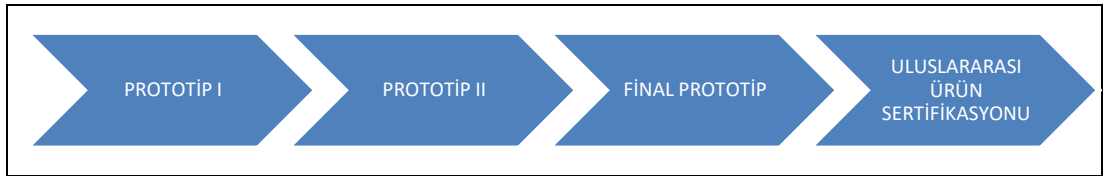
Projenin ikinci ve üçüncü yıllarında, üretilen prototiplerin saha testlerine başlanacaktır, bu testler, gerçek çalışma koşullarında prototiplerin performansını değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. Bu süreçte, saha testleri için kullanılacak tren setinin oluşturulması önemlidir; bu, prototiplerin gerçek dünya senaryolarında test edilmesini sağlar. Ayrıca, vagonlara çeşitli sensörlerin yerleştirilmesi ve bu sensörler aracılığıyla verilerin toplanması da saha testlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için gereklidir. Saha testleri sırasında, prototipler gerçek çalışma ortamında izlenir ve performansları değerlendirilir; bu, tasarımın gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamak için önemlidir. Son olarak, saha testlerinden elde edilen verilerin analiz edilmesi ve bu analizlerden elde edilen geri bildirimlerin tasarım iyileştirmelerine yönelik olarak kullanılması, projenin sürekli gelişimini sağlar ve ürünün kalitesini artırır.

Projenin 2. ve 3. yıllarında prototip üretimlere devam edilecek bu süre içinde saha testleri yapılacaktır. Saha testleri için tren seti oluşturulacak vagonlara yerleştirilen sensörler ile sonuçlar analiz edilecektir. Bu süreç şekil 4.4'de gösterilmiştir. Fiilen ürün çalışma ortamında ürün izlenecek laboratuvar ve saha testlerinden alınacak sonuçlara göre toplamda üçüncü ve sonuncu olan final prototipte nihai ürüne ulaşılması planlamaktadır. 4. yılın sonunda uluslararası sertifikasyon süreçleri tamamlanmış bir ürüne ulaşılabacaktır.



Şekil 4.4.Saha testleri.

Dördüncü yılın ana hedefi, final prototipin uluslararası sertifikasyon süreçlerinden geçmesi ve sertifikalı bir ürün olarak piyasaya sunulmasıdır. Şekil 4.5’de prototip üretimin yol haritası sunulmuştur. Bu süreç, ürünün güvenliği, dayanıklılığı ve performansının uluslararası standartlara uygunluğunu kanıtlamak için gereklidir. Bu amaçla, öncelikle sertifikasyon süreçlerinin başlatılması için uluslararası düzeyde gerekli başvurular yapılacak ve süreçler başlatılacaktır. Ardından, sertifikasyon süreçleri kapsamında gerekli tüm testler ve denetimler gerçekleştirilecek ve ürünün uluslararası standartlara uygunluğu sağlanacaktır. Son olarak, ürünün uluslararası standartlara uygunluğunu kanıtlayan belgeler ve sertifikalar alınarak ürün piyasaya sertifikalı bir şekilde sunulacaktır. Bu süreç, ürünün uluslararası pazarda kabul görmesi ve güvenilirliğinin tescillenmesi açısından büyük önem taşır.



Şekil 4.5. Prototip üretimin yol haritası.

4.6. MALİYET ANALİZİ

Bu projede kurulu bir tesis içinde üretimine geçişini düşünerek, ek yatırım maliyetlerini ortadan kaldırarak Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kümelene Destek Programı sunulabilecek bir AR-GE projesi metodolojisine uygun olarak hazırlık yapıp; aşağıdaki tablo 4.2’de bir maliyet analizi planlamıştır.

İş Planı	Bütçe
Tasarım ve analiz-1: ürün detay tasarımlarının, analiz ve simülasyonlarının yapılması	₺ 28.714.800,00
Prototip: döküm kalıbı ve prototip ürün imalatının yapılması	₺ 8.050.000,00
Prototip: dövme kalıbı ve prototip ürün imalatının yapılması	₺ 8.050.000,00
Prototip: cnc işleme fikstürlerinin ve prototip ürün talaşlı imalatının yapılması	₺ 2.520.000,00
Prototip: konnektör kalıbı ve prototip ürün elektrik-data sistemlerinin imalatının yapılması	₺ 2.800.000,00
Prototip: elastomer kauçuk kalıp ve prototip ürün imalatlarının yapılması	₺ 2.660.000,00
Prototip: şok absorber kalıbı ve prototip ürün imalatlarının yapılması	₺ 2.800.000,00
Ulusal test laboratuvarı: statik ve dinamik test platform tasarımının yapılması	₺ 8.553.600,00
Ulusal test laboratuvarı: statik ve dinamik test platform imalatının yapılması	₺ 36.462.957,00
Laboratuvar testi: statik ve dinamik testlerinin gerçekleştirilmesi	₺ 4.815.360,00
Tasarım ve analiz-2: testlerde elde edilen bulgulara göre tasarım revizyonu ve analizlerin yeniden yapılması	₺ 2.851.200,00
Revize prototip: revize döküm kalıp ve imalatının yapılması	₺ 22.440.375,00
Revize prototip: revize dövme kalıp ve imalatının yapılması	₺ 22.536.972,00
Revize prototip: revize talaşlı imalat ve fikstürlerinin yapılması	₺ 7.025.200,00
Revize prototip: revize elektrik-data sistemlerinin imalatının yapılması	₺ 7.820.000,00
Revize prototip: revize elastomer kauçuk kalıp ve imalatlarının yapılması	₺ 7.406.800,00
Revize prototip: revize şok absorber kalıbı ve prototip ürün imalatlarının yapılması	₺ 7.802.000,00
Saha testi: mevcut vagonlar ile ürün arasındaki arayüz ilişkisinin çözümlenmesi.	₺ 3.991.680,00
Saha testi: DAC ile vagon ve lokomotiflerden oluşan tren setinin oluşturulması	₺ 23.880.960,00
Saha testi: ivme ve açı sensörleri ile donatılmış vagon ve lokomotifler üzerinde saha testlerinin yapılması	₺ 57.600.000,00
Saha testi: vagon ve lokomotiflerden oluşan tren setinin fiilen sahada çalıştırılması ve izlenmesi.	₺ 4.435.200,00
Tasarım ve analiz-3: test sonuçlarına göre tasarımı revize ederek final ürünün tasarlanması. Tasarımın dondurulması.	₺ 3.465.150,00

Final prototip: final döküm kalıbı ve prototip ürün imalatının yapılması	₺ 9.480.200,00
Final prototip: final dövme kalıbı ve prototip ürün imalatının yapılması	₺ 9.536.680,00
Final prototip: final CNC işleme fikstürlerinin ve prototip ürün talaşlı imalatının yapılması	₺ 2.260.320,00
Final prototip: final konnektör kalıbı ve prototip ürün elektrik-data sistemlerinin imalatının yapılması	₺ 2.607.600,00
Final prototip: final elastomer kauçuk kalıp ve prototip ürün imalatlarının yapılması	₺ 2.607.600,00
Final prototip: final şok absorber sistemi kalıbı ve prototip ürün imalatlarının yapılması	₺ 2.607.600,00
Uluslararası DAC ürün sertifikasyonu: TSI sertifikasyonu ve laboratuvar testleri	₺ 26.782.000,00
Pr, lobi ve tanıtım çalışmaları: ürün ile ulusal ve uluslararası fuarlara katılım sağlanması; lobi ve pr faaliyetlerinin yürütülmesi	₺ 37.048.000,00
Toplam	₺ 369.612.254,00

Tablo 4.2. Maliyet tablosu.

BÖLÜM 5

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması, yük vagonları için otomatik kuplör tasarımı ve üretiminin yerli imkanlarla üretime geçişi için, mevcut altyapı tesisleri içinde ulusal AR-GE destek programları başvurularına uygun bir fizibilite projesi olarak düşünülmüş; çalışmanın adımları, araştırmalar ve analizler buna göre planlanmıştır. Bir destek projesi kapsamında hazırlanacak bir iş planı için gereken her adım bu tez çalışmasında dikkate alınmıştır.

Sonuç olarak, dijital otomatik kuplör pazar büyüklüğü göz önünde bulundurularak değerlendirildiğinde ve doğru fizibilite analizi ile projelendirildiğinde, ürünlerin rekabet edebilirliği artacaktır. Bu bağlamda, TSI belgesine sahip ve yerlilik oranı maksimum seviyede olan ürünlerin geliştirilmesi için uygun desteklerin alınması, Türkiye demiryolu sektörü için önemli faydalar sağlayacaktır. Böylelikle, yerli ve milli çözümlerle demiryolu sistemlerinin etkinliği ve güvenliği artırılarak, sektördeki bağımlılık azaltılabilecektir. Bu çalışma, Türkiye'nin demiryolu teknolojilerinde dünya standartlarında bir oyuncu olma yolundaki stratejik hedeflerine katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

1. Tamçelik, S. "Osmanlı Dönemi Demiryollarının Tarihi Gelişimi İçerisinde Siyasî, İktisadî ve Sosyal Etkiler." Erdem, vol. 12, no. 35, 2000, pp. 483-535.
2. Larkin, E. J., et al. "Towards AD 2000." 1988, pp. 211-219.
3. Condit, C., et al. "The Pioneer Stage of Railroad Electrification." 1977.
4. Knutton, M. "Japan Celebrates The Birth Of High-Speed Rail." International Railway Journal and Rapid Transit Review, vol. 44, 2004.
5. TCDD. "2022 Faaliyet Raporu." 2022, <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2022faaliyetrpr.pdf>.
6. Geike, T., et al. "Understanding High Coupler Forces at Metro Vehicles." Vehicle System Dynamics, vol. 45, 2007, pp. 389-396.
7. "Railway Coupling." Wikipedia, 2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_coupling.
8. Hecht, M., Leiste, M., and Discher, S. "Development of a Concept for the EU-wide Migration to a Digital Automatic Coupling System (DAC) for Rail Freight Transportation." Berlin University of Technology for the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, 2020.
9. Technical Innovation Circle for Rail Freight Transport. "Position Paper of the TIS." https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ibv/bahnsysteme/ressourcen/dateien/forschung/EN_TIS-position-paper.pdf.
10. "Railway Coupling by Country." Wikipedia, 2024, https://en.wikipedia.org/wiki/Railway_coupling_by_country.
11. "SA3 Coupler." Wikipedia, 2024, https://en.wikipedia.org/wiki/SA3_coupler.
12. Polonya İletişim Bakanlığı. "Interim Guidelines For Operation Of Automatic Coupler Type UIC/OSJD, Soviet—SA3 and Adapter." 1979.
13. Hagenlocher, S., Wittenbrink, P., and Leuchtmann, C. "Erstellung eines Konzeptes für die EUweite Migration eines Digitalen Automatischen

14. Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr." Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, 2020.
15. Iwnicki, S., Spiryagin, M., Cole, C., and McSweeney, T. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. 2nd ed., CRC Press, 2020.
16. Green, J. I. T. "Buffer Locking On Reverse Curves." Railway Gazette, vol. 120, 1964, pp. 903-904.
17. Popova, T. A., Popov, A. P., Zapol'skaya, A. N., and Kulikov, M. Y. "Improving the Reliability of Railway Automatic Couplers Under Track Geometry Deviations." 2023 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, Russian Federation, 2023, pp. 64-68.
18. Wagner, S., et al. "A Review on Design and Testing Methodologies of Modern Freight Train Draft Gear System." Railway Engineering Science, vol. 29, 2021, pp. 127-151.
19. Stuhr, H. J. Untersuchung Von Einsatzszenarien Einer Automatischen Mittelpufferkupplung. Dissertation, Technischen Universität Berlin, 2013.
20. Shevchenko, D. "Numerical Modeling of the Dynamics of the Clutch Couplers." Vestnik of the Railway Research Institute, 2019.
21. Noughabi, S. "Failure Analysis of Automatic Coupler SA-3 in Railway Carriages." Engineering Failure Analysis, vol. 14, 2007, pp. 903-912.
22. Yao, Y. "Dynamic Performances of an Innovative Coupler Used in Heavy Haul Trains." Vehicle System Dynamics, vol. 52, 2014, pp. 1288-1303.
23. George, N. "Locomotives Energy Management with Inter-Vehicle Train Couplers." 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, 2018, pp. 895-900.
24. "Scharfenbergkupplung." Wikipedia, 2024, <https://de.wikipedia.org/wiki/Scharfenbergkupplung>.
25. Geike, T., et al. "Understanding High Coupler Forces at Metro Vehicles." Vehicle System Dynamics, vol. 45, 2007, pp. 389-396.
26. Sachs, K. Elektrische Triebfahrzeuge – Ein Handbuch für die Praxis sowie für Studierende. 3 vols., Springer, Wien, New York, 1973.
27. Paap, Paul. Das selbsttätige Kuppeln von Eisenbahnwagen. Verkehrstechnischen Bücherei, vol. 2, Leipzig, 1925.
28. Avrupa Birliği Başkanlığı. "AB Uyum Süreci." Avrupa Birliği Başkanlığı, 2024, https://www.ab.gov.tr/test_53717.html.

29. Dym, Clive L., et al. *Engineering Design: A Project-Based Introduction*. John Wiley & Sons, 2013.
30. Dieter, George E., and Schmidt, L. *Engineering Design*. McGraw-Hill Education, 2012.
31. Ulrich, Karl T., and Eppinger, S. *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education, 2015.
32. Pahl, Gerhard, et al. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer, 2007.
33. Cross, Nigel. *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. John Wiley & Sons, 2008.
34. Jones, M. *Principles of Metal Casting*. McGraw-Hill Education, 2018.
35. Lehmhus, D. "Advances in Metal Casting Technology: A Review of State of the Art, Challenges and Trends—Part II: Technologies New and Revived." *Metals*, 2024.
36. ASM International. *ASM Forging Handbook*. ASM International, 2005.
37. DeGarmo, Paul E., Black, J. T., and Kohser, Ronald A. *Materials and Processes in Manufacturing*. 11th ed., Wiley, 2012.
38. Kalpakjian, Serop, and Steven R. Schmid. *Manufacturing Engineering and Technology*. 7th ed., Pearson, 2014.
39. Groover, Mikell P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. 6th ed., Wiley, 2015.
40. Gould, John E. "Welding Processes and Power Sources." *Welding Journal*, vol. 70, no. 3, 1991.
41. ASM International. *ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing, and Soldering*. ASM International, 1993.
42. European Railway Agency. "Factsheets." European Railway Agency, <https://www.era.europa.eu/content/era-railway-factsheets>.
43. Demiryolu Taşımacılığı Derneği (DTD). "Demiryolu Yük Taşımacılığı Sektör Değerlendirme Raporu Ağustos 2023." 2024, <https://dtd.org.tr/DTD-Sektör-Raporu-25.08.2023.pdf>.
44. TCDD Taşımacılık A.Ş. "Faaliyet Raporu 2022." 2024, <https://adminapi.tcddtasimacilik.gov.tr/files/pdfs/TCDD-Tasimacilik-2022-Faaliyet-Raporu.pdf>.

45. Sünderhauf, Bernd. Die automatische Mittelpufferkupplung, Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa. Grünstadt, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Yalgın KAHRAMAN, lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği ABD Raylı Sistemler Mühendisliği (İngilizce) programından onur öğrencisi olarak 2018 yılında mezun olmuştur. Raylı sistemler konusunda uluslararası sempozyumlarda sekiz adet bildirisi yayınlandı. Kurucusu olduğu Raylı Sistemler Derneği'nde yönetici olarak görev almaktadır. Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi'nde (ARUS) proje yöneticisi olarak çalışmaktadır.