

HİDROLİK KAZICILARIN HİDROLİK SİSTEM TASARIMLARINDA STANDART GEREKSİNİMLERİNİN BELİRLENMESİ VE UYGUNLUK DEĞERLENDİRME METODOLOJİLERİ

Neslihan AKYOL

ÖZET

Hidrolik kazıcılar; inşaat, madencilik ve altyapı projelerinde yaygın olarak kullanılan, kazı ve yükleme gibi temel işlemleri hidrolik aktüatörler yardımıyla gerçekleştiren karmaşık iş makineleridir. Bu makinelerin güvenli, verimli ve sürdürülebilir şekilde çalışabilmesi için tasarım aşamasında belirli teknik ve emniyet standartlarına uygunluk esastır. Bu çalışma, hidrolik kazıcıların hidrolik sistemlerinin tasarımında dikkate alınması gereken standart gereksinimlerin belirlenmesi ve bu gereksinimlere uygunluğun değerlendirilmesine yönelik metodolojik bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle EN 474-1:2022 ve EN 474-5:2022 standartları kapsamında tanımlanan genel güvenlik gerekleri ile ekipmana özgü tasarım kriterleri ele alınmış, ISO 8643 standardının hidrolik emniyet sistemlerinin performansı üzerindeki etkileri detaylandırılmıştır. Uygunluk değerlendirme metodolojileri; tasarım doğrulama, fonksiyonel testler ve risk değerlendirmesi boyutlarıyla çok boyutlu olarak ele alınarak, hem üretici hem de denetleyici taraflar için uygulanabilir bir çerçeve önerilmektedir. Çalışmanın, sektörel standartlara uygun mühendislik uygulamalarının geliştirilmesine ve sistem güvenliğinin artırılmasına katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik kazıcı, hidrolik devre analizi, tasarım doğrulama, emniyet valfi, fonksiyonel testler, risk değerlendirmesi, sistem güvenliği

ABSTRACT

Hydraulic excavators are complex earth-moving machines widely utilized in construction, mining, and infrastructure projects to perform core operations such as digging and loading through hydraulic actuators. Ensuring the safe, efficient, and sustainable operation of these machines requires strict compliance with technical and safety standards during the design phase. This study presents a methodological approach for identifying the standard requirements that must be considered in the hydraulic system design of hydraulic excavators, and for evaluating conformity to these requirements. Within the framework of EN 474-1:2022 and EN 474-5:2022 standards, both general and equipment-specific design criteria are analyzed, and the impact of ISO 8643 on the performance of hydraulic locking systems is examined in detail. Conformity assessment methodologies are discussed from a multidimensional perspective, including design verification, functional testing, and risk assessment. The study aims to provide a practical framework that can support both manufacturers and regulatory bodies, and contribute to the advancement of engineering practices in accordance with industry standards while enhancing system safety.

Keywords: Hydraulic excavator, hydraulic circuit analysis, design verification, safety valve, functional testing, risk assessment, system safety

1. GİRİŞ

Hidrolik kazıcılar, ağır hizmet tipi iş makineleri sınıfında yer alan ve temel işlevlerini hidrolik sistemler aracılığıyla gerçekleştiren karmaşık mekanik sistemlerdir [1]. Bu makinelerin yüksek verimlilikle, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışabilmesi, tasarım sürecinde ulusal ve uluslararası teknik düzenlemelere ve güvenlik standartlarına uygunluk göstermesiyle mümkündür. Bu bağlamda, Avrupa Birliği'nin 2006/42/EC sayılı Makine Emniyeti Yönetmeliği kapsamında belirlenen çerçeve doğrultusunda geliştirilen EN 474 serisi standartlardan EN 474-1:2022 ve EN 474-5:2022 standartları, hidrolik kazıcıların genel güvenlik gerekleri ile ekipmana özgü teknik kriterlerini kapsamlı şekilde tanımlamaktadır [9]. Ayrıca bu standartların hidrolik sistemlerde güvenlik kriterlerinin tariflendiği kısımlarında referans ettiği ISO 8643 standardı, hidrolik ataşmanların güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak kilitleme sistemlerinin tasarımı, kontrolü ve fonksiyonel güvenliği açısından önemli gereksinimleri ortaya koymaktadır [3].

Bu çalışma, hidrolik kazıcıların hidrolik sistem tasarımlarında dikkate alınması gereken uluslararası standartları teknik ve uygulama boyutlarıyla incelemeyi ve söz konusu standartlara uygunluk değerlendirme süreçlerine metodolojik bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır.

2. HİDROLİK KAZICILARIN HİDROLİK SİSTEM TASARIMINDA EN 474-1, EN 474-5 ve ISO 8643 STANDARTLARININ GEREKSİNİMLERİ

Hidrolik kazıcıların tasarım sürecinde, güvenliğin sağlanması ve operatör ile çevreye yönelik risklerin minimize edilmesi amacıyla uyulması gereken birincil düzenlemeler EN 474 serisi standartlar ile tanımlanmaktadır. Bu bölümde, EN 474-1:2022, EN 474-5:2022 ve ISO 8643 standartlarında yer alan temel teknik gereklilikler açıklanmakta ve söz konusu gereksinimlerin hidrolik sistem tasarımına etkileri değerlendirilmektedir.

2.1 EN 474-1:2022 Genel Güvenlik Gereklilikleri

Günümüzde iş makinelerine ilişkin güvenlik uygulamalarının etkin ve sürdürülebilir bir biçimde sağlanabilmesi, yalnızca yapısal mühendislik tasarımlarıyla sınırlı kalmamakta; aynı zamanda uluslararası normlara dayanan standartlaştırılmış teknik düzenlemelerin bütüncül biçimde uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede, EN 474-1:2022 – İnşaat ve Kazı Makineleri – Güvenlik – Bölüm 1: Genel Özellikler standardı, EN ISO 6165:2012 kapsamında tanımlanan inşaat ve kazı makineleri için geçerli olan genel güvenlik gerekliliklerini kapsamlı biçimde ortaya koymaktadır [5]. Avrupa Birliği makine emniyeti direktifleriyle uyumlu olarak yayımlanan söz konusu standart, özellikle mobil inşaat makinelerinde meydana gelebilecek yapısal, fonksiyonel ve operasyonel riskleri asgari seviyeye indirmeyi hedeflemektedir; bu amaçla makinelerin tasarımı, donanım entegrasyonu ve test süreçlerine ilişkin zorunlu kriterleri tanımlamaktadır [9]. Standardın 4.12 numaralı "Kaldırma Operasyonları" başlıklı maddesi ise kaldırma fonksiyonu icra eden makineler özelinde, bu sistemlerde bulunması gereken bileşenler ile güvenlik donanımlarına ilişkin teknik gereksinimleri detaylandırmakta ve bu sistemlerin uygunluk değerlendirme yöntemlerini düzenlemektedir.

2.1.1 Yük Kaldırma ve İndirme Donanımları Kontrol Sistemleri

EN 474-1:2022 standardı kapsamındaki düzenlemeler, kaldırma işlevi taşıyan makinelerde kullanılan tüm kaldırma donanımlarının, standartta yer alan gereksinimler doğrultusunda tasarlanmasını ve değerlendirilmesini şart koşmaktadır. Bu donanımların hidrolik sistemle bütünlük olarak çalışması ve operasyona uygun güvenlik düzeyi sunması beklenmektedir.

Ayrıca, kaldırma amacıyla kullanılan tüm makinelerde, bom ve kol silindirlerine entegre edilecek indirme kontrol cihazları zorunludur. Özellikle kol silindirlerinde, bu cihazların basınçlı (yükseltici) uca monte edilmesi gerekmektedir. Bu cihazların performansı ve uygunluğu ise, EN 474-1 standardına

göre ISO 8643:2017 standardı çerçevesinde test edilmelidir. Söz konusu düzenleme, kontrolsüz yük düşmelerinin önlenmesi ve makine dengesinin korunması açısından kritik bir güvenlik sağlaması önlemdir.

2.1.2 Yük Aşımı Algılama, Kapasite Göstergeleri ve Sınırlandırma Sistemleri

EN 474-1:2022 Madde 4.12.3, nominal kaldırma kapasitesi 1000 kg veya devrilme momenti 40.000 Nm ve üzeri olan makineler için, aşırı yükleme durumunda operatörü uyaracak akustik veya görsel bir uyarı sisteminin zorunlu olduğunu belirtmektedir. Bu uyarı sistemleri, yalnızca kaldırma operasyonu esnasında aktif olmalı; diğer operasyon türlerinde devre dışı bırakıldığında ise bu durum açıkça gösterilmelidir. Uyarı sisteminin devreye alma ve çıkarma kontrol birimi, EN ISO 6682:2008 standardına uygun olarak, operatörün konfor ve erişim bölgesinde yer almalıdır [14].

Buna paralel şekilde, Madde 4.12.4 uyarınca, aynı kriterleri karşılayan makinelerde yük kapasitesi göstergesi bulunmalıdır. Bu gösterge, yükleme sırasında sistemin mevcut kaldırma kapasitesini gerçek zamanlı olarak izleme olanağı sunarak operatörün karar alma sürecini desteklemelidir.

EN 474-1:2022 madde 4.12.5'te tanımlanan nominal kapasite sınırlama cihazı, kaldırma kapasitesinin aşılmasını otomatik olarak önleyen, emniyeti sağlayan kritik bir bileşen olarak tanımlanmaktadır. Bu cihazın, yalnızca yükün artırılmasını sınırlaması; ancak yükün azaltılması veya boşaltılmasına müdahale etmemesi gerekmektedir. Bu, sistem güvenliği ile operasyonel esneklik arasındaki dengeyi sağlayan bir tasarım ilkesidir.

2.1.3 Kaldırma Kapasitesi Bilgisi

EN 474-1:2022 standardının 4.12.6 maddesi kapsamında, kaldırma işlevi için yapılandırılmış her makinede nominal kaldırma kapasitesine ilişkin bilgilendirme, operatör tarafından açıkça görülebilecek, dayanıklı ve okunabilir bir formatta sağlanmalıdır [4]. Bu bilgi; etiket, elektronik ekran veya döner kart aracılığıyla sunulabilir ve aynı zamanda operatör el kitabında yer almalıdır. Bu tür bilgilendirme sistemleri, operasyonel risklerin azaltılmasına yönelik önemli bir yönetsel kontrol mekanizması oluşturmaktadır.

2.1.4 Fonksiyonel Uygunluk: Statik ve Dinamik Test Prosedürleri

Makinenin kaldırma operasyonlarına fonksiyonel olarak uygun olup olmadığının değerlendirilmesi için EN 474-1:2022 standardı madde 4.12.7 altında tanımlanan test protokolleri uygulanmalıdır. Bu bağlamda;

Statik testler, makinenin sabit yük altında yapısal bütünlüğünü değerlendirmeye yönelik olup, testler Q1 ve Q2 kapasitelerinin %125'i ile gerçekleştirilir. Testin başarıyla geçilmesi için, uygulanan yük altında 10 dakika boyunca kalıcı deformasyon veya belirgin yapısal kusur oluşmamalıdır.

Dinamik testler ise, makinenin maksimum kaldırma hızı altında, Q1 ve Q2 yüklerinin %110'u ile çeşitli fonksiyonel hareketler (kaldırma, uzatma, döndürme vb.) esnasında gerçekleştirilir. Testin başarı kriteri, herhangi bir kalıcı deformasyon veya sistemsel kusur meydana gelmeden tamamlanmasıdır.

Seri üretim söz konusu olduğunda, testlerin her bir makine yerine, kalite kontrol sistemi tarafından güvence altına alınmış numune makineler üzerinde gerçekleştirilmesi mümkündür. Ancak bu uygulama, üretim süreçlerinin izlenebilirliğini sağlayan, belgeye dayalı bir kalite güvence sistemi gerektirmektedir.

2.2 EN 474-5:2022 Hidrolik Kazıcılar İçin Özel Gereklilikler

İnşaat ve kazı makinelerinin alt sınıfı olan hidrolik kazıcılar, yalnızca kazı işleviyle sınırlı kalmayıp,

modern şantiye koşullarında kaldırma operasyonlarını da güvenli bir şekilde gerçekleştirebilecek şekilde yapılandırılmaktadır. Bu işlevsel genişleme, kaldırma operasyonlarına yönelik ilave güvenlik önlemlerinin ve sistem tasarım kriterlerinin yürürlüğe girmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede, EN 474-5:2022 – İnşaat ve Kazı Makineleri – Güvenlik – Bölüm 5: Hidrolik Kazıcılar İçin Ek Gereklilikler standardı, EN 474-1:2022’de tanımlanan genel güvenlik kurallarına ek olarak, hidrolik kazıcılara özgü yapısal ve fonksiyonel gereklilikleri detaylandırmakta ve bu makinelerin kaldırma operasyonlarına uygunluğunu sağlayacak teknik düzenlemeleri ortaya koymaktadır [2].

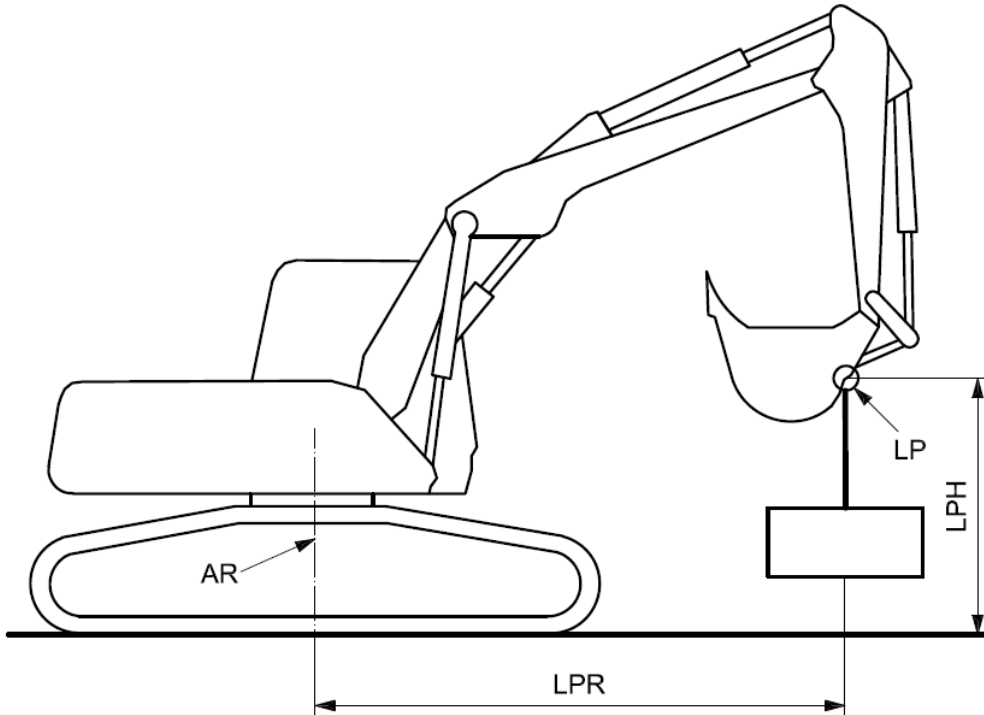
2.2.1 Hidrolik Kazıcıların Kaldırma Operasyonlarında Uygulama Kapsamının Belirlenmesi

EN 474-5:2022 standardı madde 4.8.1 kapsamında, EN 474-1:2022’nin 4.12 maddesinde kaldırma işlemi ile tanımlanan hükümleri, belirli koşullara göre farklılaşan uygulama yapısıyla hidrolik kazıcılara uygulanmaktadır.

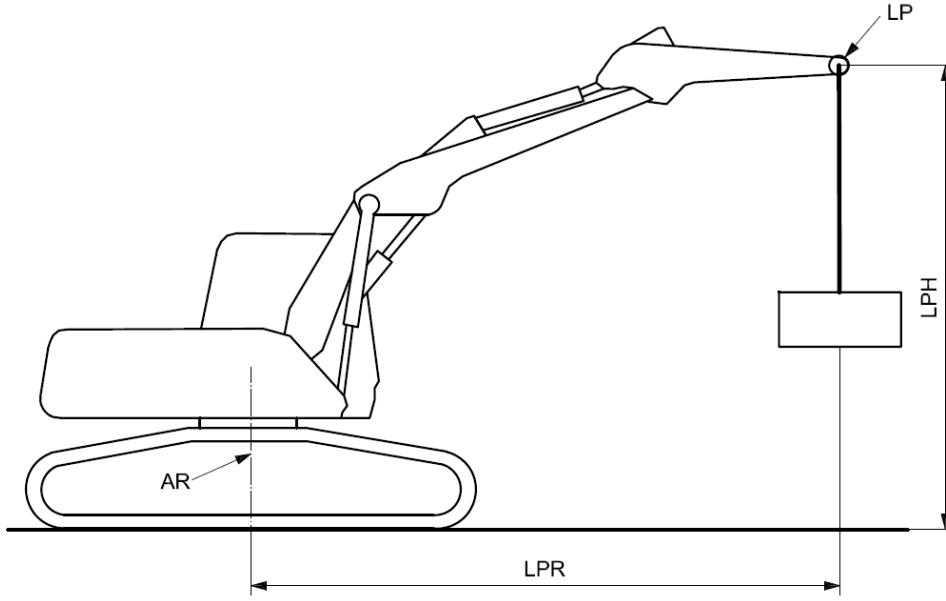
Bu bağlamda; ISO 10567:2007 standardında dönüş ekseninden düşey kaldırma hattına veya palangasına olan yatay mesafe olarak tanımlanan, şekil 1 ve şekil 2’deki gibi hidrolik kazıcıların farklı konfigürasyonlarındaki minimum kaldırma noktası yarıçapında (LPR: Lift-point Radius) makinenin en dengeli düzenlemede (örneğin denge ayakları aşağıdayken), imalatçı tarafından belirtilen çalışma aralığının en az bir konumunda kaldırma işleminin yapılabildiği azami kapasitesi 1000 kg veya üzeri olan ya da 40.000 Nm veya üzeri devrilme momenti oluşturan makineler için;

- Çalışma kütlesi (operating mass) ISO 6016:2008 standardına göre 50 ton veya daha az olan tüm makinelerde, makinenin kullanım amacı gözetilmeksizin yani kaldırma işleminde kullanılıp kullanılmayacağına bakılmaksızın emniyet valfleri ile donatılması gerekmektedir ve EN 474-1:2022 Madde 4.12 hükümleri tam kapsamlı olarak uygulanır [6].
- Çalışma kütlesi 50 tonun üzerinde olan makinelerde ise, söz konusu hükümler yalnızca kaldırma operasyonu amacıyla tasarlanmış makineler için geçerlidir [4].

Bu düzenleme, farklı tonajlardaki makineler için güvenlik tedbirlerinin bağlam-temelli uygulanmasını öngörerek, tasarımda orantılı risk yönetiminin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 1. Kovalı Hidrolik Kazıcılarda Kaldırma Noktaları ve Kaldırma Noktası Yarıçapı (LPR) [4].



Şekil 2. Kovasız / Kepçesiz Hidrolik Kazıcılarda Kaldırma Noktaları ve Kaldırma Noktası Yarıçapı (LPR) [4].

2.2.2 Nominal Kaldırma Kapasitesinin Belirlenmesi

EN 474-5:2022 standardında belirtilen kaldırma işlemlerindeki nominal kaldırma kapasitesi, EN 474-1:2022 standardında tanımlanan kaldırma işlemi hükümleri geçerli olmakla birlikte, bu standarda ek olarak, kaldırma operasyonları sırasında dikkate alınacak nominal kaldırma kapasitesinin, ISO 10567:2007 standardına göre belirlenmesi zorunludur. Bu standardın kullanımı, kaldırma kapasitesinin uluslararası düzeyde tanımlı metodoloji ile hesaplanmasını sağlayarak, farklı üreticiler ve uygulamalar arasında teknik uyumun tesis edilmesine olanak tanımaktadır [4].

2.2.3 Yük Kapasitesi Göstergesi ve Kapasite Sınırlandırma Cihazları Uygulamaları

Hidrolik kazıcıların genel güvenlik gereksinimlerinin tanımlandığı ve tariflendiği EN 474-5:2022 standardında, EN 474-1:2022'de tanımlanan iki önemli güvenlik ekipmanı, hidrolik kazıcılar için zorunlu tutulmamıştır:

1. Yük kapasitesi göstergesi,
2. Nominal kapasite sınırlama cihazı.

Bu istisnai durum, hidrolik kazıcılarda yük taşıma fonksiyonunun yardımcı ve sınırlı bir işlev olarak değerlendirilmesiyle ilgilidir. Ancak bu muafiyet, kazıcıların kaldırma kabiliyetlerine bağlı risk değerlendirmelerinin uygulamada daha dikkatli yapılmasını gerektirmektedir.

2.2.4 Kaldırma Kapasite Beyan Tablosu ve Bilgilendirme Yükümlülüğü

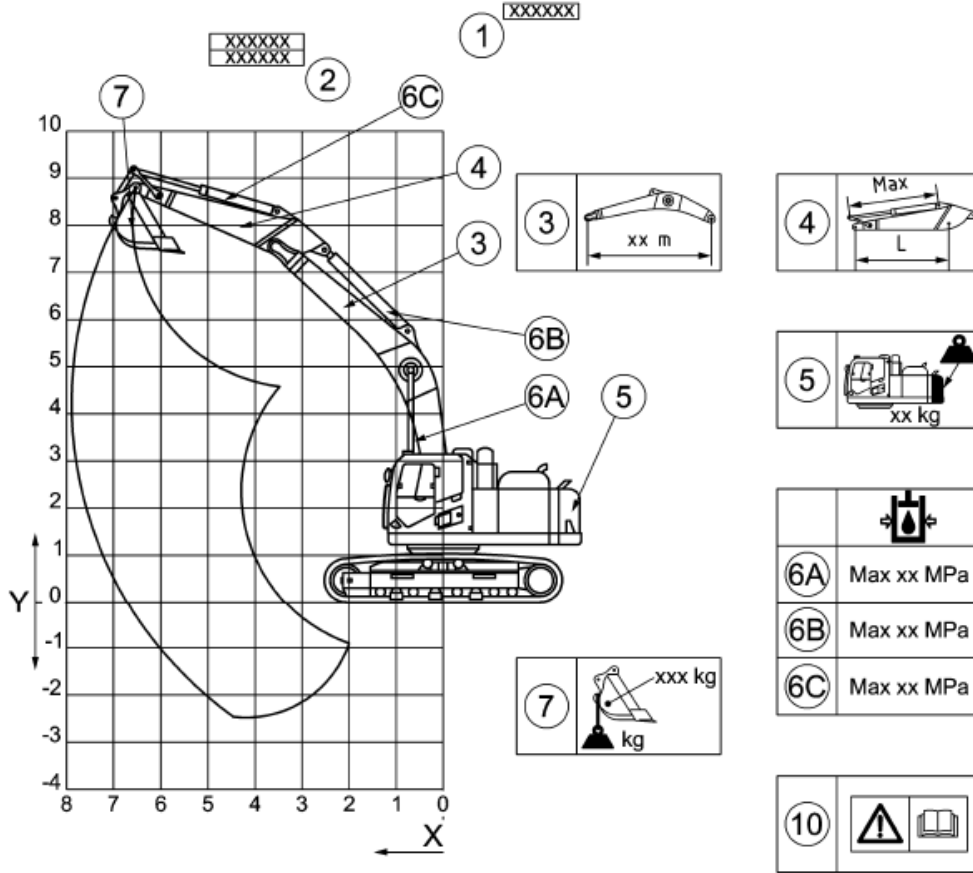
EN 474-5:2022 standardı uyarınca, EN 474-1:2022 standardında belirtilen nominal kaldırma kapasitesi bilgilendirme gerekliliklerine ek olarak, üretici tarafından hazırlanmış ve kaldırma kapasitesini erişim mesafeleri ile kule dönüş pozisyonlarına bağlı olarak gösteren kaldırma kapasitesi diyagramları makine üzerinde yer almalıdır.

Söz konusu diyagramlar:

- Her kaldırma konfigürasyonu için ayrı ayrı hazırlanmalı,
- Kullanım bakım kılavuzlarında belirtilmeli,
- Makine üzerindeki operatör istasyonunda açık şekilde görülebilir biçimde yer almalıdır.

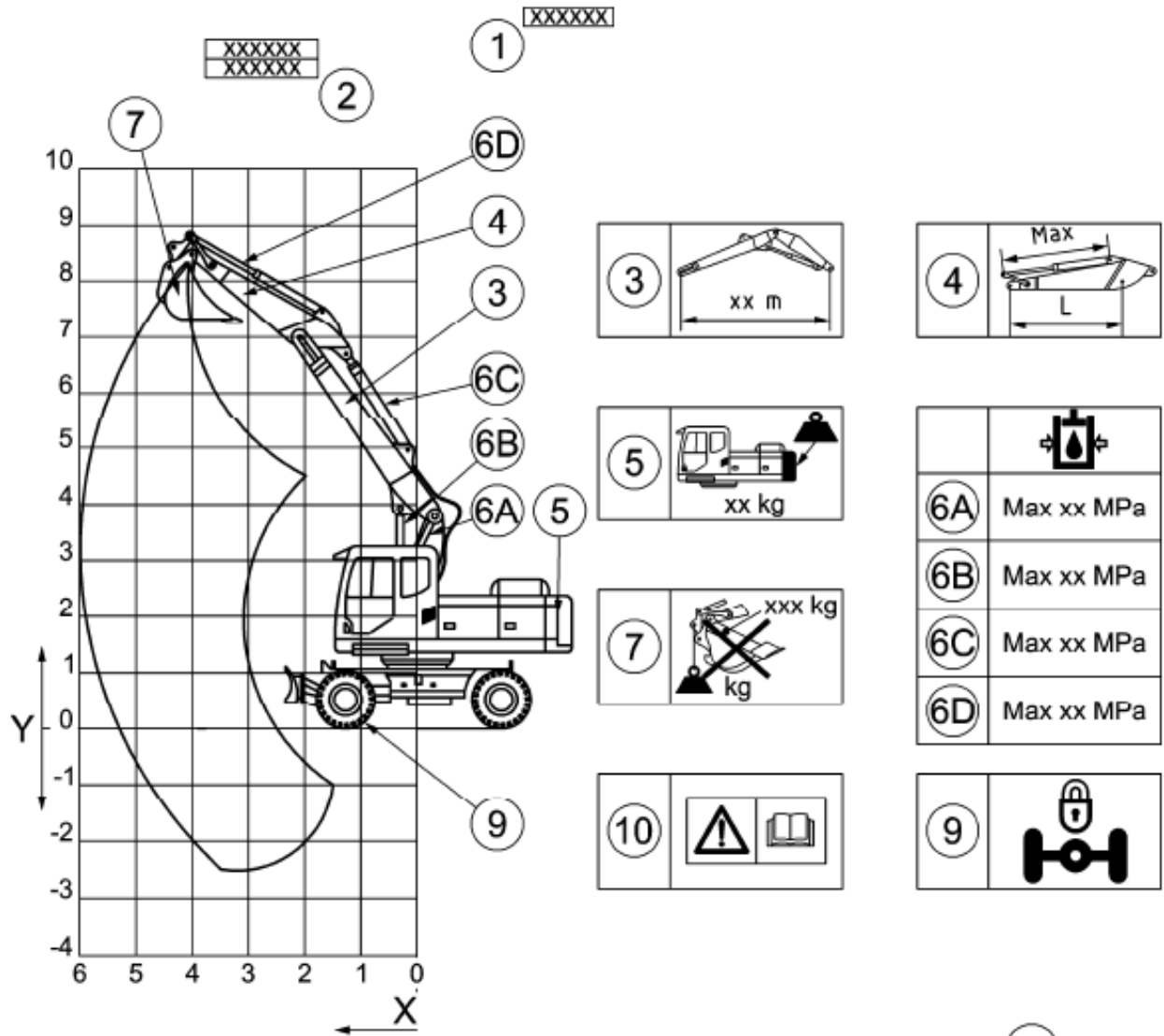
Paletli hidrolik kazıcıların örnek kaldırma kapasitesi beyan tablosu şekil 3'teki gibi olup, lastik tekerlekli hidrolik kazılarda örnek kaldırma kapasitesi beyan tablosu şekil 4'teki gibidir [4].

Bu bilgilendirme yaklaşımı, operatörün sahadaki karar alma süreçlerini destekleyerek hem operasyonel verimliliği artırmakta hem de kaldırma sırasında oluşabilecek denge sorunlarının önüne geçmektedir.



		kg											
L	X	X1			X2			X1			X2		
		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	
L1	Y1												
	Y2												
	Y3												
	Y4												
L2	Y1												
	Y2												
	Y3												
	Y4												

Şekil 3. Paletli Hidrolik Kazıcıların Örnek Kaldırma Kapasitesi Beyan Tablosu [4].



		kg					
		X			Y		
		X1	X2	X1	X2	X1	X2
L	L1						
	L2						
	Y1						
	Y2						
	Y3						
	Y4						

Şekil 4. Lastik Tekerlekli Hidrolik Kazıcıların Örnek Kaldırma Kapasitesi Beyan Tablosu [4].

2.3 ISO 8643 Standardı ve Emniyet Kilitleme Sistemlerine Yönelik Gereklilikler

Hidrolik kazıcılar gibi iş ve inşaat makinelerinde, kaldırma ve indirme operasyonlarının emniyetli bir biçimde gerçekleştirilmesi, yalnızca yapısal dayanım unsurlarına değil, aynı zamanda hidrolik sistem güvenliği kapsamında tasarlanan koruyucu donanımlara da bağlıdır. Bu kapsamda, ISO 8643 standardı, bu tür makinelerde bom, ara bom ve kol silindirlere entegre edilen alçaltma kontrol tertibatlarının tasarım, performans ve test kriterlerini kapsamlı bir biçimde tanımlamaktadır [3].

2.3.1 Standardın Uygulama Alanı ve Önemi

ISO 8643 standardı, özellikle hidrolik hat arızası ya da hidrolik sistemdeki boru patlaması gibi durumlarda kontrolsüz yük düşmesini önlemek amacıyla tasarlanmış olan emniyet kilitleme sistemlerinin sistematik olarak değerlendirilmesine yöneliktir. Söz konusu kontrol cihazları, kaldırma donanımına entegre edilen bom, ara bom ve kol silindirlere uygulanmakta olup, yükleme ve taşıma faaliyetleri esnasında operatör ve çevresel güvenliği sağlayan temel sistem bileşenleri arasında yer almaktadır [10].

Standardın kapsamına göre, bu sistemlerin yalnızca üretici tarafından tanımlanan standart bağlantı konfigürasyonları üzerinde test edilmesi öngörülmektedir. Alternatif bağlantı düzeneklerinin sunulduğu makinelerde, yalnızca standart uzunluk ile yapılandırılmış sistemler uygunluk testine tabi tutulur. Bu yaklaşım, testlerin karşılaştırılabilirliğini artırmakta ve üreticiler arasında teknik standardizasyonun sağlanmasına katkı sunmaktadır [10].

2.3.2 Hidrolik Hat Arızalarında Güvenli İndirme Kontrolü

Hidrolik sistemlerde hat basıncının ani kaybı, özellikle kaldırılmış yüklerin altında kalan personel ya da çevre için ciddi riskler teşkil etmektedir[10]. Bu nedenle, ISO 8643 standardı, hat arızaları veya ani sızdırma durumlarında silindirlerin yükü güvenli bir hızda ve kontrollü biçimde zemine indirebilmesini sağlayan indirme kontrol valfleri ve kilitleme sistemlerinin hem tasarım hem de işlevsel performans açısından belirli kriterleri karşılamasını zorunlu kılar [3].

Standart, alçaltma kontrol tertibatlarının;

- Hidrolik sıvı geri dönüş akışını kontrollü biçimde kısıtlayarak serbest düşüşü engellemesini,
- Uygun basınç toleransları içinde çalışmasını,
- Ters yükleme koşullarında dahi etkinliğini sürdürebilmesini,
- Çalışma ömrü boyunca güvenli performans sağlamasını,

öngörmektedir. Bu işlevler, yalnızca güvenli çalışma koşullarını desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda makine yapısının aşırı zorlanmasını da önleyerek sistem ömrünü uzatır [11].

3. UYGUNLUK DEĞERLENDİRME METODOLOJİLERİ

Hidrolik kazıcıların güvenli, verimli ve standartlara uygun şekilde çalışabilmesi, hidrolik sistem bileşenlerinin tasarım aşamasında belirli teknik kriterlerin dikkate alınmasını gerekli kılar. Bu bağlamda EN 474-1:2022, EN 474-5:2022 ve ISO 8643 gibi normatif belgeler hem yapısal hem de fonksiyonel tasarım süreçlerine yön vererek uygunluk değerlendirme metodolojileri için çerçeve sunmaktadır.

EN 474-1:2022 hidrolik sistemler açısından bu standardın temel katkısı, sistem basınçlarının kontrolü, hidrolik devre düzenlemeleri, sızıntı önleyici bağlantılar ve arıza durumlarında güvenli kapanma stratejilerinin tanımlanmasıdır. Ayrıca, ergonomi, bakım erişilebilirliği ve operatör güvenliği gibi tasarım parametreleri açısından da sistemin genel bütünlüğüyle ilişkili değerlendirme kriterleri sunmaktadır. EN 474-5:2022 ise kazıcı kolların, ataşmanların ve diğer hareketli elemanların hidrolik kumandaları ile

bu sistemlerin devreye alınma koşulları için özel gereklilikler belirler. Operatör müdahalesi dışında sistemin kendiliğinden hareket etmesini önleyici tedbirler, sistemdeki potansiyel enerji birikiminin kontrolü ve kritik hidrolik bileşenlerdeki arızalara karşı devre tasarımı gibi konular bu standardın değerlendirme metodolojisinin merkezinde yer alır.

ISO 8643 standardı ise, özellikle yük tutma işlevi açısından kritik olan ataşmanlar için yük tutma valflerinin fonksiyonel uygunluklarını tanımlar. Bu kapsamda, hidrolik sistemlerin yük altında boru veya hortum arızaları durumunda yükü güvenli şekilde tutabilmesi için gerekli olan valf yapılandırılmaları, kontrol senaryoları ve test kriterleri açıkça belirtilmektedir. ISO 8643, uygunluk değerlendirmesi açısından hem prototip hem de seri üretim seviyesinde gerçekleştirilecek testlerin teknik detaylarını ortaya koyarak, sistem tasarımlarının performansla dayalı doğrulamasını mümkün kılar.

Bu standartlar temelinde yürütülen uygunluk değerlendirme metodolojileri, genellikle üç temel aşamada ele alınmaktadır:

1. Tasarım doğrulama,
2. Fonksiyonel test süreçleri,
3. Risk analizi ve hata türü etkileri değerlendirmesi (FMEA).

Bu süreçlerde, sistemin ilgili standartlardaki güvenlik ve performans gerekliliklerini karşılayıp karşılamadığı hem simülasyon ortamlarında hem de saha testlerinde analiz edilir [13]. Özellikle ISO 8643 kapsamında gerçekleştirilen yük tutma testleri, kazıcı ataşmanlarının basınç kaybı, valf tepki süresi ve kontrol stabilitesi açısından uygunluk gösterip göstermediğini belirlemek açısından kritik rol oynar.

3.1 Standartlar Arası İlişki, Test Prosedürleri ve Uygunluk Değerlendirme Yöntemleri

Hidrolik kazıcıların hidrolik sistem gereksinimleri tanımlanırken, EN 474-1:2022 standardının kaldırma işlemi gereklilikleri dikkate alınarak, EN 474-5:2022 standardının yükümlülükleri karşılanırken, ISO 8643 standardı teknik referans olarak gösterilir ve kaldırma güvenliği konusunda net bir mühendislik standardı altyapısı oluşur.

EN 474-1:2022 standardının kaldırma işlemi ile ilgili gerekliliklerine göre,

- Kaldırma işlemi sırasında ataşmanın kontrolsüz düşmesini önleyecek şekilde bir sistem bulunmalı,
- Bom silindirine yerleştirilecek kontrol cihazı, ISO 8643 standardı ile uyumlu olmalı,
- Emniyet sisteminin başarısız olduğu durumda operatör mahalindeki sesli ya da ışıklı uyarı sistemi gibi bir uyarıcı ile operatör açıkça uyarılmalıdır.

ISO 8643 kapsamında tanımlanan test prosedürleri, indirme kontrol sistemlerinin statik ve dinamik koşullarda nasıl tepki verdiğini değerlendirmeye yöneliktir.

Bu testlerde;

- Hidrolik hattın yapay olarak devre dışı bırakıldığı (örneğin, valfin açık bırakıldığı veya bir hat kopması simüle edildiği) koşullar altında,
- İndirme kontrol cihazının silindir üzerindeki yükü düşürmeden tutma kabiliyetini,
- İniş hızının emniyet sınırları içerisinde kalıp kalmadığı,

ölçülerek sistemin fonksiyonel güvenilirliği değerlendirilir.

3.2 Paletli Hidrolik Kazıcı Modeli Üzerinde Hidrolik Sistem Arıza Durumu Simülasyonu Testi Uygulaması

Uygulama örneği olarak paletli hidrolik kazıcı üzerinde standart gereksinimlerini doğrulama testleri gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, söz konusu standartların entegrasyonu ile hem güvenli hem de

verimli bir hidrolik sistem oluşturmasını ve hidrolik kazıcılardaki hidrolik hortumlarda herhangi bir hasarın meydana gelmesi durumunda emniyet valflerinin kullanım amaçlarını yerine getirip getirmeyeceğinin kontrolünü sağlamaktadır.

3.2.1 Test Hazırlığı

ISO 8643'te tanımlanan test düzeneği, makine üzerine yerleştirilen yükleme sistemiyle birlikte uygulanır. Arıza simülasyon tertibatının bağlantı örnekleri şekil 5'teki gibi;

- (A) bom kaldırma silindiri ile kumanda valfi arasındaki hat üzerine,
- (B) bom kaldırma silindiri ile deney tertibatı (basınç göstergesi) arasındaki sinyal hattı üzerine,
- (C) bom kaldırma silindirleri arasındaki dengeleme hattı üzerine,

gerçekleştirilir [7], [8]. Emniyet valfinin devre dışı bırakılması, enerji kesintisi simülasyonu ve zaman temelli konum izleme bu test kapsamında uygulanmaktadır.

Ataşmanda yavaşlama olup olmadığını gözlemlmek için arm (ana kumanda valfi pilot hattı, hortum patlama valfi pilot hattı, piston ve rod basınçları gibi) ve bom üzerinden (kilit valf pilot hattı, kilit valf dengeleme hatları, piston ve rod basınçları gibi) belirli noktalardan basınç ölçümleri alınır. Kilit valf üzerindeki pilot hattı ile ana kumanda valfi üzerindeki pilot hattı arasındaki basınç farkı 1 barı geçmemelidir. Testler 45°C yağ sıcaklığında gerçekleştirilir. Test yükünün ağırlığı 2 tondur.

3.2.2 Testlerin Uygulanması

ISO 8643 standardında belirtilen her bir durum için hidrolik sistem arızaları simüle edilir, tutma konumu deneyi, kaldırma deneyi ve indirme deneyi uygulanarak ataşmanın düşüş hızları ile basınçlar ölçülür.

Test prosedürünün temel adımları:

- Makineye nominal yük bağlanır,
- Bom maksimum konuma kaldırılır,
- Pilot basınç kesilir (acil durdurma simülasyonu),
- Silindir hareketi gözlemlenir; hareket varsa sistem uygun değildir.

3.2.2.1 Tutma Deneyi

Tutma deneyi kapsamında, deney yükü yerden 1,50 metre yukarıda sabitlenir. Bu konumdayken, arıza simülasyonu amacıyla hidrolik devre üzerinde bulunan simülasyon valfi açılarak ani basınç kaybı oluşturulur. Deney süresince, ataşmanın düşme miktarı 10 saniyelik bir gözlem periyodu boyunca 100 mm'yi aşmamalıdır. Bu kriter, sistemin yükü kontrolsüz şekilde bırakmaması gerektiğine ilişkin güvenlik gerekliliğini temsil eder.

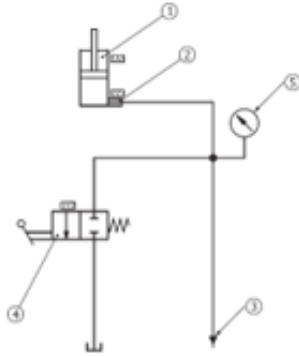
3.2.2.2 Kaldırma Deneyi

Bu testte, deney yükü maksimum 20 mm/s hız ile yukarı doğru kaldırılırken, ana hidrolik besleme hattında arıza durumu simüle edilir. Arıza esnasında yükte meydana gelen düşüş, belirli bir süre boyunca izlenir. 10 saniyelik gözlem süresi içinde düşüş miktarının 100 mm'yi geçmemesi, sistemin kaldırma sırasında ani basınç kayıplarına karşı yeterli güvenlik düzeyine sahip olduğunu gösterir.

3.2.2.3 İndirme Deneyi

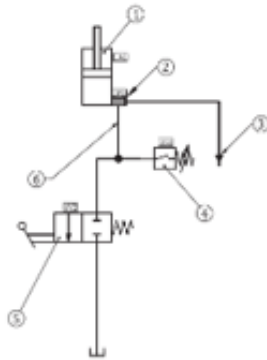
İndirme deneyi öncesinde, joystick kumandalarının istem dışı hareketlerini engellemek amacıyla mekanik veya elektronik sınırlayıcı uygulanarak yük indirme hızı 200 mm/s seviyesinde sabitlenir. Deney yükü indirilirken, eş zamanlı olarak ana hidrolik hat arızası simüle edilir. Bu durumda, yükün

düşme mesafesi ve düşme süresi ölçülerek düşme hızı hesaplanır. Sistem tasarımı gereği, hortum patlaması veya benzeri hidrolik arıza koşullarında oluşan düşüş hızındaki artışın, normal indirme hızının %100'ünü aşmaması gerekmektedir. Bu sınır, ISO 8643 standardında tanımlanan fonksiyonel güvenlik kriterlerini doğrudan karşılamaktadır.



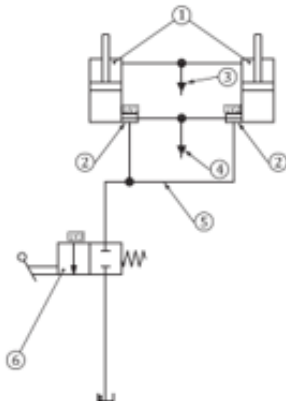
(A)

- 1 Silindir
- 2 Alçaltma Kontrol Cihazı
- 3 Kumanda Valfi
- 4 Arıza Simülasyon Cihazı
- 5 Basınç Sensörü



(B)

- 1 Silindir
- 2 Alçaltma Kontrol Cihazı
- 3 Kumanda Valfi
- 4 Basınç Sensörü
- 5 Arıza Simülasyon Cihazı
- 6 Sinyal Hattı



(C)

- 1 Silindirler
- 2 Alçaltma Kontrol Cihazı
- 3 Kumanda Valfi
- 4 Kumanda Valfi
- 5 Dengeleme Hattı
- 6 Arıza Simülasyon Cihazı

Şekil 5. Arıza Simülasyonu Tertibatının Bağlantı Örnekleri [7], [8].

Bu testlerin başarıyla tamamlanması, yalnızca ürünün teknik güvenlik gerekliliklerini karşıladığını göstermekle sınırlı kalmaz; aynı zamanda Avrupa Birliği'nin Makine Direktifi (2006/42/EC) kapsamında tanımlanan temel sağlık ve güvenlik gereklerinin sağlandığını da belgeleyen bir nitelik taşıır. Bu çerçevede, hidrolik sistemlere yönelik gerçekleştirilen uygunluk testleri, ürünün CE normlarına uygun olabilmesi için hazırlanan teknik dosyanın vazgeçilmez bileşenlerinden biridir. CE normlarına uygunluk, ürünün Avrupa Ekonomik Alanı (AEA) içerisinde serbestçe dolaşım hakkına sahip olduğunu ve yürürlükteki ilgili mevzuata uygun şekilde tasarlanıp üretildiğini göstermektedir [9].

Buna ek olarak, söz konusu test prosedürleri, üretici firmaların kalite güvence sistemlerinde periyodik olarak uygulanması gereken, izlenebilirliği yüksek ve belgelendirilebilir nitelikte mühendislik süreçleri arasında yer alır. Bu uygulamalar, uygunluk değerlendirme kuruluşları (notified bodies / onaylı kuruluş) tarafından yürütülen denetimlerde teknik uygunluk ve sistemsel yeterliliğin doğrulanmasına yönelik güvenilir ve ölçülebilir veri sunarak, ürün kalitesinin sistematik biçimde teminat altına alınmasına olanak tanır.

SONUÇ

Hidrolik kazıcıların güvenli, işlevsel ve standartlara uygun biçimde çalışabilmesi, sistem bileşenlerinin yalnızca mekanik yeterliliğiyle değil, aynı zamanda uluslararası normlara dayalı fonksiyonel performansla da doğrulanmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda yürütülen değerlendirmelerde, ISO 8643, EN 474-1:2022 ve EN 474-5:2022 standartları doğrultusunda geliştirilen sistem tasarımları ve test metodolojileri, yük tutma ve indirme gibi kritik fonksiyonların güvenli biçimde gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Standartların teknik gereksinimleri ile test yöntemlerinin mühendislik uygulamalarına entegrasyonu, yalnızca ekipman güvenilirliğini artırmakla kalmayıp, operatör ve çevre güvenliği açısından da yüksek risklerin önüne geçmektedir. Örneğin, ISO 8643'te tanımlanan pilot kontrollü çek valf uygulaması, sistem basıncı kesildiğinde bile bom silindirisinin kontrolsüz açılmasını engelleyerek ciddi iş güvenliği avantajı sunmaktadır.

Gerçekleştirilen saha testleri, sistemin arıza senaryoları altında sergilediği davranışları somut verilerle değerlendirme imkânı sunmuş ve test sonuçları, emniyet sistemlerinin hem statik hem de dinamik koşullar altında ISO 8643'te tanımlanan fonksiyonel sınırlar içerisinde çalıştığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, hidrolik kazıcılarda emniyet kilitleme ve yük tutma sistemlerine ilişkin uygunluk değerlendirme süreçleri, yalnızca yasal mevzuat uyumluluğu sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda makine mühendisliği tasarımlarında güvenliğin sistematik olarak tesis edilmesine katkı sunmaktadır. Bu yaklaşım, CE uygunluk beyanı hazırlıkları ve üretici kalite güvence sistemleri açısından da temel mühendislik çıktıları üretmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] EN 474-1:2022, Construction machinery – Safety – Part 1: General requirements, European Committee for Standardization (CEN).
- [2] EN 474-5:2022, Construction machinery – Safety – Part 5: Requirements for hydraulic excavators, European Committee for Standardization (CEN).
- [3] ISO 8643:2017, Earth-moving machinery – Hydraulic excavators – Lift capacity of machines – Test methods and lifting device requirements, International Organization for Standardization.
- [4] ISO 10567:2007, Earth-moving machinery – Hydraulic excavators – Lift capacity, International Organization for Standardization.

- [5] ISO 6165:2012, Earth-moving machinery – Basic types – Identification and terms and definitions, International Organization for Standardization.
- [6] ISO 6016:2008, Earth-moving machinery – Methods of measuring the masses of whole machines, their equipment and components, International Organization for Standardization.
- [7] ISO 1219-1:2012, Fluid power systems and components – Graphical symbols and circuit diagrams – Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications, International Organization for Standardization.
- [8] ISO 1219-2:2012, Fluid power systems and components – Graphical symbols and circuit diagrams – Part 2: Circuit diagrams, International Organization for Standardization.
- [9] 2006/42/EC, Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, Official Journal of the European Union.
- [10] M. Ivanović, D. Marinković, “Hydraulic safety systems in heavy machinery,” Journal of Mechanical Engineering, 2018.
- [11] D. Lin, Y. Liu, “Simulation and analysis of load-holding valves under hydraulic failure conditions,” International Journal of Fluid Power, 2018.
- [12] W. Backé, Hydraulics and Pneumatics: A Technician's and Engineer's Guide, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005.
- [13] E. Bălan, “Functional Safety of Mobile Hydraulic Systems: Requirements and Test Methods,” Proceedings of the International Conference on Fluid Power, 2020.
- [14] EN ISO 6682:2008, Earth-moving machinery – Zones of Comfort and Reach for, International Organization for Standardization.

ÖZGEÇMİŞ

Neslihan AKYOL

1988 yılı İstanbul doğumludur. 2011 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl panel mobilya imalatı yapan firmada ürün belgelendirme ve sertifikasyon alanında çalışmaya başladı. 2012 yılında eğitimlerini tamamlayarak Baş Tetkikçi kimliğini aldı ve birçok farklı sektörde ürünlerin sertifikasyon süreçlerinde bağımsız denetçilik yaptı. 2020 yılında Hidromek'te Homologasyon Mühendisi olarak çalışmaya başlayan ve Homologasyon Takım Lideri olarak görevine devam eden Akyol, uluslararası standartların hazırlandığı CEN/TC 151, ISO/TC 127, ISO/TC 195 teknik komitelerinin Türkiye temsilciliğinin yürütüldüğü MTC 198: İş, İnşaat, Ziraat Makineleri ve Ekipmanları Teknik Komitesi kurucu başkanıdır.