

MESLEKİ DİŞ İSKELETLER: GELECEĞİN İŞYERİNDE İŞLE İLGİLİ KAS İSKELET SİSTEMİ HASTALIKLARINI ÖNLEYECEK GIYİLEBİLİR ROBOTİK CİHAZLAR

Giriş

Bu tartışma raporu, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL)'nın, EU-OSHA ile kas-iskelet sistemi hastalıklarının (KİSH) önlenmesi alanında araştırma hizmetleri sağlamakla ilgili olarak imzaladığı işbirliği anlaşmasının bir parçası olarak hazırlanmış olup, yardımcı dış iskeletler üzerine INAIL ile İtalyan teknoloji enstitüsünün (IIT) ortak geliştirdiği projenin sonuçlarını sunmaktadır.

Son yıllarda, çalışanların giydiği ve dış iskelet olarak bilinen yeni yardımcı giysiler iş hayatımıza girmiştir. Dış iskeletlere olan artan ilgi, pek çok mesleki uygulamada (örnek; otomotiv ve havacılık üretimi, lojistik, inşaat ve tarım gibi ekonomik sektörlerde) bu giyilebilir robotik cihazların muhtemelen gelecekteki değişikliklerden birini temsil edeceğini gösteriyor.

Robot ve robotik cihazlar gibi otomasyon ve mekanikleşme araçlarıyla insan faaliyetlerini destekleme fikri yeni değildir. Dış iskeletler gibi robot ve robotik cihazlar, yaşı ve kabiliyeti ne olursa olsun hedeflenen tipik kullanıcıların yaşam kalitesini iyileştirmek için gereken görevlerin yerine getirilmesi rolünü oynamakta veya desteklemektedir.

Özellikle, elle malzeme taşıma (EMT) birçok iş ortamında fiziksel güç gerektiren ortak bir faaliyettir (örneğin; üretim, lojistik, inşaat ve tarım gibi ekonomik sektörlerde). EMT dinamik kaldırma ve uzun süreli kambur şeklindeki duruşlar gibi görevleri içerir, omurga üzerine dikkate değer bir sıkıştırma basıncı üretebilir ve işle ilgili kas-iskelet sistemi hastalıkları (İİKİSH) için ana risk etkenlerinden biridir. İİKİSH'ler sadece şirketlerin maliyetlerini arttırmayıp, çalışanların yaşam kalitesine de önemli bir etkiye sahiptir (Peters and Wischniewski, 2019). İşyerleri için güvenlik ve ergonomi rehberleri, malzeme ağırlıkları ve hareket frekansı açısından EMT işlemlerinde genellikle çok katı sınırlamalar getirerek çalışanların iş yükünü azaltmayı amaçlamaktadır. (Garg, 1995).

Kaldırılacak yükü hafifleten ya da tümünü kaldıran manipülatör gibi teknik cihazların kullanımıyla da çalışanların fiziksel iş yükü azaltılabilir.

Yine de bazı durumlarda, gerek bu tip cihazlar, gerekse işyerindeki diğer teknik ve organizasyonel tasarım önlemleri uygun olmayabilir ve dış iskeletlerin kullanımı gerekli hale gelebilir.

Doğrusu, değişen çevresel gereklilikler nedeniyle ergonomik tasarım önlemlerinin uygulanamadığı ve sabit bir mekâna bağlı olmayan pek çok işyeri vardır (örneğin; lojistik, inşaat, tarım gibi) (Schick, 2018). Ayrıca, bazı elle taşıma işlerinde kasların aşırı çalışması, sık kaldırma ya da doğru olmayan duruşlar fiziksel aşırı zorlama riskini arttırabilir. Bütün bu durumlarda dış iskeletler çalışma şartlarını iyileştirmek için birçok imkân sunarak İİKİSH'leri önlemeye yardımcı olmaktadır.

Bu makale, yukardaki perspektif çerçevesinde mesleki dış iskeletler hakkında son teknolojik durumu açıklayarak, insan merkezli bir tasarım (İMT) aracılığıyla hangi ihtiyaçların karşılanması gerektiğini ve bunların faydalarını maksimize etmek ve potansiyel olumsuz etkilerini minimize etmek için söz konusu dış iskelet tipolojisinin hangi özelliklere sahip olması gerektiğini ele almaktadır.

Mesleki dış iskelet tanımı

Dış iskeletler, mekanik bir yolla vücudu etkileyen kişisel yardımcı sistemler olarak tanımlanabilir (Liedtke and Glitsch, 2018) ve normal olarak aktif ve pasif sistemler olarak sınıflandırılabilir.

Aktif dış iskeletler insan hareketlerini desteklemek için aktüatör (mekanik tahrik bileşeni) kullanır. Aktif dış iskeletlerin çoğu elektrik motoru kullanır ama pnömatrik çalıştırma örnekleri de vardır (Aida, Nozaki & Kobayashi, 2009; Inose ve ark., 2017). Sensör bilgisine dayanan bir bilgisayar programı işlem süresince aktüatörlerin çalışmasını kontrol eder.

Yukardakinin tersine, *pasif dış iskeletler* insan hareketleri desteklemek için yayların geri yükleme kuvvetlerini, amortisörleri yada diğer malzemeleri kullanır.

Pasif bir dış iskelette depolanan enerjiyi kullanıcının hareketleri üretir (de Looze et al., 2016). Ayrıca, kuvvetler belli vücut bölgelerini korumak için yeniden paylaştırılır. Kullanıcı performansındaki değişim, ek fiziksel güçten kaynaklanmayıp yorucu pozisyonu daha uzun süreyle koruma yeteneğinin sonucudur.

Dış iskelet denen ürünü daha hassas bir şekilde çerçevelemek ve özelliklerini daha açık olarak tanımlamak için, 'robot' ve 'robotik cihaz'ın güncel olarak ne anlama geldiğini analiz ederek işe başlıyoruz.

Uluslararası Standart olan ISO 8373:2012 (ISO, 2012), hem endüstriyel hem de endüstriyel olmayan ortamlarda çalışan robotlar ve robotik cihazlarla ilgili olarak kullanılan tanımları açıklar. Robotik konular ana başlıklar içinde gruplanmakta, en sık kullanılan terimlerin tanımları ve açıklamaları verilerek bunlar arasındaki farklar netleştirilmektedir.

Genel anlamda:

1. *Robot*, amaçlanan görevleri gerçekleştirmek için bulunduğu ortamda bir dereceye kadar bağımsız hareket edebilen, iki veya daha fazla eksenle programlanarak çalıştırılan bir mekanizmadır. Bir robot kontrol sistemi ile bunun ara yüzünü içerir.
2. Bir *robotik cihaz*, robotun özelliklerini karşılayan, ancak programlanabilir eksenli veya bağımsızlık derecesi (örneğin kuvvet yardım cihazı, uzaktan operasyonlu cihaz, iki eksenli endüstriyel manipülatör) olmadan da çalıştırılan bir mekanizmadır.

Standart robotlar ve robotik cihazlar şu şekilde sınıflandırılır:

- İmalat, muayene, paketlenme ve montaj gibi endüstriyel otomasyon sistemlerinde kullanılan sabit veya mobil olabilen *endüstriyel uygulamalar*;
- Ticari olmayan bir işteki kişisel kullanımlar için *hizmet uygulamaları* (örneğin, evde hizmet robotu, otomatik tekerlekli sandalye, kişisel harekete yardım robotu, evcil hayvan egzersiz robotu) veya ticari bir iş için kullanılan profesyonel hizmet robotları ⁽¹⁾.

Bu genel bakış, *aktif dış iskelet* olarak kabul edilebilecek bir cihazın tanımını ve teknik özelliklerini tanıtmaya yardımcı olur.

Bu amaçla kullanılan "ISO/CD 18646-4 – Robotik – Servis robotları için performans kriterleri ve ilgili test yöntemleri – Bölüm 4: Bel destek robotları (ISO/CD 2019)" isimli taslak standart şunları tanımlar:

- *Giyilebilir robot*: Kullanım sırasında ve insana bağlıyken kişisel yeteneklerin desteklenmesi veya artırılması için yardımcı bir kuvvet veya tork sağlayan cihazdır. (giyilebilir robotlar, ISO 13482:2014'te (ISO 2014) sınırlayıcı tip fiziksel yardımcı robotlar olarak anılır)
- *Bel destek robotu*: Sağladığı yardımcı kuvvet veya tork ile kullanıcının bel kısmındaki yükü azaltan giyilebilir bir robottur. (Şekil 1).

Daha dar bir anlamda, *aktif dış iskeletler*, kullanıcının gücünü artırmak veya desteklemek için vücuda etki eden iç veya dış kuvvetleri değiştiren *giyilebilir hizmet robotu cihazlarıdır*.

⁽¹⁾ Profesyonel hizmet robotları genellikle uygun şekilde eğitilmiş bir operatör tarafından çalıştırılır (örn. halka açık yerler için temizlik robotları, ofislerde veya hastanelerde teslimat robotları, yangınla mücadele robotları, rehabilitasyon robotları ve hastanelerde ameliyat robotları).

Şekil 1: Bel destek robotu örnekleri

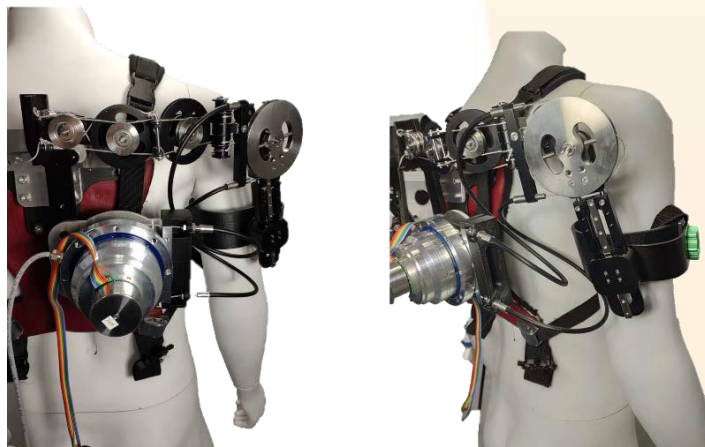
Kaynak: XoTrunk – Yardımcı dış iskeletler hakkındaki INAIL/İtalyan teknoloji enstitüsünün (IIT) projesi

Dış iskeletlerin muhtemel uygulama alanları arasında; klinik motor rehabilitasyonları için fizik tedavi (Colombo ve ark., 2000), motor bozukluğu olan veya asker kişiler için yardım (Ortiz, Di Natali & Caldwell, 2018) (Kazerooni ve ark., 2005), hatta sporcular için koruyucu veya güçlendirici donanımlar (RoamRobotics, 2018) sayılabilir.

Son zamanlarda, çeşitli sektörlerde zorlayıcı faaliyetler yürüten işçiler üzerindeki fiziksel yükü azaltmak için dış iskeletlerin kullanılmasına artan bir ilgi vardır, çünkü bu cihazlar mevcut çözümler uygulanabilir olmadığına bir alternatif sunabilir. Bu dış iskeletlere *mesleki dış iskeletler* adı verilmektedir.

Son yıllarda, birkaç yeni araştırma prototipinin yanı sıra mevcut veya yeni şirketlerin ürünleri de dahil olmak üzere mesleki dış iskeletlerin görünümü önemli ölçüde genişledi. Daha yakın zamanda, Sugar ve ark. (2018) tarafından hazırlanan bir yayında, bel yükünü azaltmaya yönelik cihazlar başta olmak üzere en yeni 'kaldırma destekli giyilebilir cihazlar' listelenmiştir.

Genel olarak mesleki dış iskeletler, diğer uygulamalardaki gibi üç gruba ayrılabilir: alt, üst (Şekil 2) ve tüm vücut dış iskeletler (Şekil 3). Tüm vücut dış iskeletleri üst ve alt gövdeye aynı anda destek sunmaktadır.

Şekil 2: Mesleki üst aktif dış iskelet örneği

Kaynak: Park, Ortiz & Caldwell, 2018

Şekil 3: Mesleki tam vücut aktif dış iskelet görünüşü

Kaynak: Yardımcı dış iskeletler hakkında INAIL/İtalyan Teknoloji Enstitüsü (IIT) projesi

Mesleki dış iskeletler: çalışanların kabul zorluğu

Mesleki bir uygulamaya sahip dış iskeletlere olan yüksek ilgiye rağmen, bunların geniş ölçekli olarak uygulanması için daha uzun bir yol kat edilmesi gerekmektedir. Bunun nedenleri arasında esasen bu giyilebilir hizmet robotu cihazlarının bazı teknik ve kullanıcılar tarafından kabul edilebilirlik sorunları ile bu cihazların İİKİSH üzerindeki gerçek önleyici etkileri hakkında çok az bilgi mevcudiyeti sayılabilir.

İİKİSH'larını önleyen dış iskeletlerin potansiyel faydası önemli olsa da, işyerinde dış iskeletlerin daha yaygın kullanımını teşvik etmek için ele alınması gereken birkaç özel güvenlik sorununu dikkate almak önemlidir.

Mesleki dış iskelet (hem aktif hem de pasif) giyen işçiler için, uzun süreli kullanımla ilgili çeşitli risk senaryoları tanımlanabilir (EU-OSHA, 2019).

Bu bağlamda, Fransız Ulusal Mesleki Kazaları ve Hastalıkları Önleme, Araştırma ve Güvenlik Enstitüsü (INRS), işyerinde dış iskelet kullanırken karşılaşılan yeni risk faktörlerine genel bir bakış yayınladı (INRS, 2019). Bir yandan dış iskeletler, çalışanlara fiziksel olarak yardım edip potansiyel olarak İİKİSH'larını önleyerek veya fiziksel engelli çalışanları destekleyerek işyerinde kas, eklem, bağ ve kemik zorlanmalarını azaltmak için bir fırsat olabilir. Öte yandan, zorlanmaların farklı vücut bölgelerine dağıtılması nedeniyle yeni potansiyel sağlık riskleri ortaya çıkabilir. Dış iskelet kullanımı ayrıca motor kontrolünü, eklem stabilitesini ve değişen vücut kinematiğini de etkiler (INRS, 2018).

Mesleki dış iskeletlerin geniş ölçekli uygulamasını hayal edebilmek için öncelikle dikkate alınması ve çözülmesi gereken bazı teknik, güvenlik ve ergonomik sorunlar da vardır.

Bunun nedenlerinden biri dış iskeleti giymekle ilişkili rahatsızlık düzeyi olabilir (örneğin, Abdoli-E, Agnew & Stevenson, 2006; Abdoli-E ve diğerleri, 2007). Biyomekanik avantaj sağladıktan sonra, minimum düzeyde bir rahatsızlığın bile kullanıcılar tarafından kabul edilmesini engelleyebileceği akılda tutulduğunda, ekipman ile kullanıcı ara yüzündeki rahatsızlığın ortadan kaldırılması, dış iskelet tasarımında bir sonraki zorluk olabilir.

Pasif cihazlarla ilgili diğer bir endişe, bacak veya kol kaslarının potansiyel olarak artan aktivitesi ile ilgilidir. Bu faktörün nihai kullanım ürünlerine yönelik geliştirme çalışmalarında kesinlikle dikkate alınması gerekmektedir. Aktif dış iskeletler, fiziksel yükleri pasif dış iskeletlerden daha fazla azaltma potansiyeline sahip olabilir ve vücuttaki birçok eklem üzerindeki yükü hafifletebilir. Bununla birlikte, artan sayıda eklem, aktüatörler ve güç kaynağı ile dış iskeletin ağırlığı artacaktır. İşçiyi bu sabit ağırlık yükünden kurtarmak için dış iskeletin zemine uzatılması faydalı olmakla birlikte tasarımın karmaşıklığını artıracaktır.

Antropomorfik dış iskeletlerin kullanılması bu sorunların üstesinden gelmek için yardımcı olabilir.

Antropomorfik dış iskeletler, bir dizi hareketli eklem içerir ve insan vücuduna benzer bir iskelet yapısına sahiptir. Bu mimari, insan vücudunun kinematiğini birebir takip etmeyen diğer dış iskeletlere kıyasla bazı avantajlar sunar. Örneğin, doğrudan vücuda bağlandığı için ayak izini ve sonuç olarak boyutları nispeten küçültür.

Dış iskelet çalışanın hareketlerini kopyalar, yani hareket sırasında insan uzuvları ve dış iskelet birbirine göre hizalanır. Bu durum, aktüatörlerin uygun şekilde yanıt verebilmesi için dış iskeletin insanın nasıl hareket etmek istediğini algılamasını gerektirir. Amaçlanan hareketleri istenmeyen hareketlerden ayırt etmek genellikle zordur ve birçok farklı türde sensöre ve karmaşık sinyal işlemeye sahip sistemlere ihtiyaç gösterir.

Yang ve arkadaşları (2008), normalden hızlıya doğru düzgün hareketler sağlamak için geliştirilmiş kontrol stratejilerinin gerekliliğini araştırmışlardır. İnsan-makine bilgi alışverişi, gerçek zamanlı hareket planlaması ve güvenlik kontrolü böyle bir kontrol stratejisinin oluşturulmasında karşılaşılan zorluklardır.

Doğal ve rahat hareketler sağlamak için insan anatomisini, kinematiğini ve kinetiğini yansıtmak, *antropomorfik aktif dış iskeletler* için bir zorluk olmaya devam ediyor. Ayrıca, herhangi bir eklemdaki dönme hareketi deri ile iskelet yapısı arasında hareket gerektirir. Dış iskelet hareket sırasında buna uyum sağlamak için ideal olarak uzamalı veya kısalmalıdır.

Diğer bir endişe ise, dış iskeletlerin mesleki uygulamaları için uluslararası güvenlik standartlarının henüz mevcut olmamasıdır. Bu durum, onların benimsenmesinin önünde önemli bir engeldir.

Bugüne kadar, yalnızca bel destek robotları için performans kriterleri ile test yöntemlerini tanımlayan ve daha önce bahsedilen ISO/DIS 18646-4 ve EN ISO 10218-1:2011 (ISO, 2011) gibi genel standartlar ile endüstriyel ve yardımcı (collaborative) robotlar için güvenlik gereksinimlerini belirleyen 15066:2016 (ISO/TS, 2016) standardı mevcuttur.

Mesleki dış iskeletlerin geniş ölçekli uygulanmasının yukarıdaki teknik zorluklarına, güvenlik ve yasal yönlerine ek olarak, kullanıcı kabul edilebilirliği bu cihazların işyerinde uygulanması için çok önemli bir faktördür.

Giyilebilir teknolojinin kabulü ve kullanımının önündeki engelleri araştıran son yayınlar, cihazların yalnızca güvenli, rahat ve kullanışlı olması gerektiğini değil, aynı derecede önemli olarak son kullanıcı tarafından arzu edilmesi gerektiğini göstermektedir. (Reid ve diğerleri, 2017; Schall, Sesek ve Cavuoto, 2018; Jacobs ve diğerleri, 2019). Bu nedenle, şirketler ve çalışanları doğrudan dış iskelet tasarım sürecine dahil etmek için kullanıcı merkezli bir tasarım yaklaşımına başvurulması tavsiye edilmektedir.

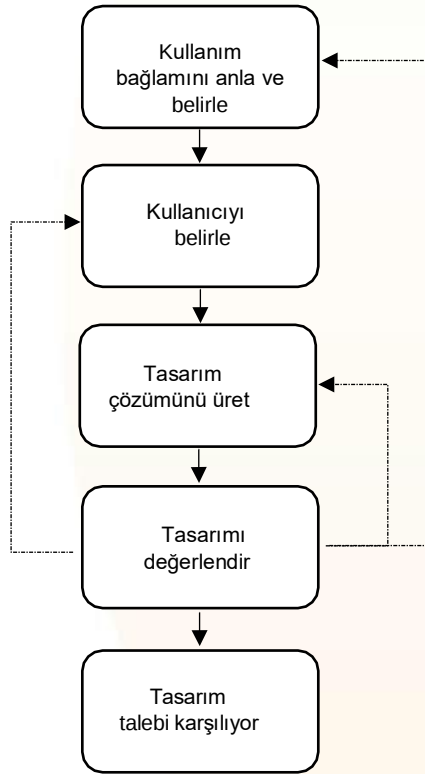
İnsan merkezli tasarım ve mesleki dış iskeletler

İnsan merkezli tasarım (İMT) kullanıcıların ihtiyaçlarına ve taleplerine odaklanarak, insan faktörleri/ergonomi ve kullanılabilirlik bilgi ve tekniklerini uygulayarak, sistemleri işe yarar ve kullanışlı hale getirmeyi amaçlayan interaktif bir geliştirme yaklaşımıdır.

Bu yaklaşım, etkinliği ve verimliliği artırır, insan refahını, kullanıcı memnuniyetini, erişilebilirliği ve sürdürülebilirliği geliştirir ve cihaz kullanımının insan sağlığı, güvenliği ve performansı üzerindeki olası olumsuz etkilerini ortadan kaldırır.

İMT'nin nasıl organize edilebileceği ve etkin bir şekilde kullanılabileceği konusunda önemli miktarda insan faktörü/ergonomi ve kullanılabilirlik bilgisi bulunmaktadır. EN ISO 9241-210:2019 (EN ISO, 2019), uygun olduğu durumlarda interaktif bir süreci izleyen sistemlerin geliştirilmesine yardımcı olmak için bu bilgileri kullanıma sunmayı amaçlar (Şekil 4). Bu standart, özellikle etkin ve zamanında İMT faaliyetlerini belirlemek ve planlamak için donanım, yazılım ve yeniden tasarım süreçlerini yönetmek içindir. Ancak bu yaklaşım, mesleki dış iskelet tasarımı veya diğer teknik güvenlik önlemleri gibi karmaşık sistemler için de faydalı olabilir.

Şekil 4: İnsan merkezli tasarım proses planı



Kaynak: yazarların ayrıntılı EN ISO açıklaması 2019, şekil 1

İMT'nin literatürde, özellikle rehabilitasyon (Zhou, Li & Bai, 2017) veya genel araştırma amaçlı (Davis ve diğerleri, 2020) robotik dış iskelet tasarımının optimizasyonuna yönelik bazı uygulamaları vardır.

İMT için bir başka yararlı standart, makine tasarımı ve iş görevleri arasındaki etkileşimlere odaklanan EN 614-2:2000+A1:2008'dir (EN, 2008). Bu standart, Makine Direktifi (2006/42/EC) Resmi Gazete'de yayınlandığında uyumlaştırılmış bir standart halini almış olup, makine ve operatör çalışma görevlerinin tasarım sürecinde izlenecek ergonomik ilke ve prosedürleri belirler. Genel olarak dış iskelet, Avrupa Birliği Makine Direktifinin düzenlemeleri kapsamında makine olarak tanımlanabilir.

Bir sonraki bölüm, literatürde mevcut olan ve EN ISO 9241-210:2019 (EN ISO, 2019) tarafından tanımlanan iki aşamalı İMT yaklaşımıyla ele alınan kritik konulara genel bir bakış sunmaktadır. Bu bilgi, giyilebilir cihazlar tamamen hayata geçirilmeden önce mesleki dış iskelet tasarımcılarına rehberlik etmeye yardımcı olur. Bu bölümde, hâlihazırda yayınlanmış olan ve bu sorunları ele almanın yollarını gösterebilecek bazı uyumlaştırılmış ergonomik standartlar açıklanmaktadır.

Güvenli bir mesleki dış iskeletin tasarım özellikleri

İMT sürecini hayata geçirirken atılacak ilk adım kullanıcı bağlamını anlamak ve tanımlamaktır. Bu nedenle mesleki dış iskeletler için işyeri özelliklerinin ve işçinin gerçekleştireceği EMT faaliyetlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu noktada prosesteki dış iskeletlerin kullanım amacını ve iş spesifikasyonlarını tanımlamak için yüklerin elle taşınması ve statik çalışma duruşlarının değerlendirilmesine ilişkin ISO/TR 12295:2014 teknik raporuna (ISO/TR, 2014) başvurmak faydalı olacaktır.

Bu prosedüre dayanan belirli bir işle ilgili risk değerlendirmesi çalışan tarafından gerçekleştirilen görevleri tanımlayarak başlamalıdır, örneğin;

- ağırlıkları kaldırma ve taşıma,
- ağırlıkları itme ve çekme,
- hafif ağırlıkları yüksek sıklıkta hareket ettirme,
- statik çalışma postürleri.

Çevre koşulları ve çalışma ortamı ile ilgili olarak gerçekleştirilecek faaliyet hakkındaki bilgilere dayanarak, bu aşamada dikkate alınması gereken diğer hususlar aşağıdadır:

- taşıma yükü (örneğin; kütle, ölçü/boyut, kollar/tutamaklar),
- ortamın durumu (örneğin; sıcaklık, iç/dış alan faaliyeti, sınırlandırılmış alanlar, çalışma alanı özellikleri),
- üretim şartları (örneğin; zaman ve çalışma metotları, cihazın fiyatı),
- çalışanların özellikleri (örneğin; cinsiyet, yaş, nitelikler, yetenekler).

İMT sürecinin ikinci aşaması, kullanıcı gereksinimlerinin belirlenmesidir. Genel olarak, literatürde aşağıdaki ana gereksinimler tanımlanmıştır:

- hareket özgürlüğü (örneğin; vücut postürleri, cihaz boyutları),
- konfor (örneğin; postürel ve fizyolojik konforlu çalışma açısı),
- ortam şartları (örneğin; operatörler arası etkileşim, kalori/metabolik harcama),
- giyilebilirlik (örneğin; malzeme ya da cihazın şekli, uyarlanabilirlik),
- kullanımın kavranabilmesi (örneğin; gerekli olan bilişsel kaynaklar),
- biyomekanik durumlar (örneğin; vücudun farklı bölümlerindeki kuvvet/basınç, titreşimler, gürültü, operatörün vücudu üzerinde ağırlık dağılımı),
- fizyolojik durumlar ve etkileri (örneğin; hareketlilik ve hareketsizlik arasında doğru denge).

Ayrıca, mesleki dış iskeletin estetiği gibi ikincil faktörler de sistemin kabulünü teşvik edebilir.

Makine Direktifi Ek I, Bölüm 1.1.6'da belirtilen ergonomiye ilişkin temel sağlık ve güvenlik gereksinimlerinin uygulanmasına ilişkin kılavuz, bu unsurlardan bazılarını tanımlamak için yararlı olabilecek birkaç standart sunmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 1'de, güvenli mesleki dış iskelet tasarlamak için kullanışlı ergonomik standartlar listelenmiştir.

Tablo 1: Güvenli mesleki dış iskeletlerin tasarım karakteristikleri için uluslararası standartlar

Operatör değişkenliği	Fiziksel boyut	EN 547-3:1996+A1:2008 – Makina güvenliği – İnsan vücut ölçüleri — Bölüm 3: Antropometrik veriler EN 614-1:2006+A1:2009 – Makina güvenliği – Ergonomik tasarım ilkeleri – Bölüm 1: Terminoloji and genel ilkeler EN 894-1:1997+A1:2008 – Makina güvenliği – Göstergelerin ve kontrol aktüatörlerinin tasarımı için ergonomi gereksinimleri - Bölüm 1: Göstergeler ve kontrol aktüatörleri ile insan etkileşimleri için genel ilkeler EN 1005-1:2001+A1:2008 – Makina güvenliği - İnsan fiziksel performansı - Bölüm 1: Terimler ve tanımlar EN 1005-4:2005+A1:2008 – Makina güvenliği – İnsan fiziksel performansı – Bölüm 4: Makina içinde makinaya erişim ile ilgili çalışma duruşları ve hareketlerinin değerlendirilmesi EN ISO 14738:2008 – Makina güvenliği – Makinelerdeki iş istasyonlarının tasarımı için antropometrik gereksinimler EN ISO 15536-1:2008 – Ergonomi – Bilgisayar modelleri ve gövde şablonları – Bölüm 1: Genel gereksinimler EN ISO 7250-1:2017 – Teknolojik tasarım için temel insan vücudu ölçüleri – Bölüm 1: Vücut ölçü tanımları CEN ISO/TR 7250-2:2011+A1:2013 – Teknolojik tasarım için temel insan vücudu ölçüleri: Ulusal popülasyonlardan alınan vücut ölçülerinin istatistiksel özetleri
-----------------------	----------------	--

	Kuvvet	EN 614-1:2006+A1:2009 EN 1005-1:2001+A1:2008 EN 1005-2:2003+A1:2008 – Makina güvenliği – İnsan fiziksel performansı - Bölüm 2: Makinelerin ve makinelerin bileşen parçalarının elle taşınması EN 1005-3:2002+A1:2008 – Makina güvenliği – İnsan fiziksel performansı – Bölüm 3: Makine çalışması için önerilen kuvvet sınırları EN ISO 15536-1:2008
Hareket alanı	Postür	EN 614-1:2006+A1:2009 EN 1005-1:2001+A1:2008 EN 1005-2:2003+A1:2008 EN 1005-3:2002+A1:2008 EN 1005-4:2005+A1:2008 – Makina güvenliği – İnsan fiziksel performansı – Bölüm 4: Makina içinde makinaya erişim ile ilgili çalışma duruşları ve hareketlerinin değerlendirilmesi EN ISO 14738:2008 EN ISO 15536-1:2008
	Dinamikler	EN 614-1:2006+A1:2009 EN 1005-1:2001+A1:2008 EN 1005-4:2005+A1:2008 EN ISO 14738:2008 EN ISO 15536-1:2008
İş temposu	Tempo	EN 1005-3:2002+A1:2008
	Hız	EN 894-1:1997+A1:2008
Konsantrasyon	Zihinsel işlem	EN 614-1:2006+A1:2009 EN ISO 10075-1:2017 – Zihinsel iş yüküyle ilgili ergonomik ilkeler – Bölüm 1: Genel terimler ve tanımlar EN ISO 10075-2:2000 – Zihinsel iş yüküyle ilgili ergonomik ilkeler – Bölüm 2: Tasarım ilkeleri EN ISO 10075-3:2004- Zihinsel iş yüküyle ilgili ergonomik ilkeler – Bölüm 3: Zihinsel iş yükü ölçme ve değerlendirme yöntemlerine ilişkin ilke ve gereklilikler
	Bilişsel performans	EN 614-1:2006+A1:2009 EN ISO 10075-1:2017 EN ISO 10075-2:2000 EN ISO 10075-3:2004
İnsan/makina ara yüzü	Etkileşim	ISO 6385:2004 – İş sistemlerinin tasarımında ergonomik ilkeler EN ISO 9241-910:2011 – İnsan-sistem etkileşiminin ergonomisi - Bölüm 910: Dokunsal ve duyuşsal etkileşim için çerçeve
	Görsel	EN 614-1:2006+A1:2009 EN ISO 14738:2008
	İşitsel	EN 614-1:2006+A1:2009
	Hassasiyet	EN ISO 7730:2005 – Termal ortamın ergonomisi - PMV ve PPD endekslerinin hesaplanması ve yerel termal konfor kriterleri kullanılarak termal konforun analitik olarak belirlenmesi ve yorumlanması ISO 7933: 2004 – Termal ortamın ergonomisi - Öngörülen ısı geriliminin hesaplanmasını kullanarak ısı stresinin analitik olarak belirlenmesi ve yorumlanması EN ISO 8996:2004 – Termal ortamın ergonomisi – Metabolik oranın belirlenmesi

Kaynak: Yazarların ayrıntılı açıklaması

Kullanıcı bağlamını anlayarak gereksinimleri belirledikten sonra, EN ISO 9241-210:2019'un İMT yaklaşımı; tasarımcının bağlam ve kullanıcı gereksinimlerini karşılayacak çözümleri hedeflemek için izlemesi gereken diğer yapılandırılmış adımları vermektir. Literatürde, yukarıda bahsedilen hususları uygulamanın ideal bir yöntemi; doğal ve rahat hareketler sağlamak için insan anatomisini, kinematiğini ve kinetiğini yansıtacak antropomorfik mesleki dış iskeletler geliştirmektir. (Şekil 5)

Şekil 5: Antropomorfik mesleki dış iskeletler



Kaynak: FleXo – Yardımcı dış iskeletler üzerine INAIL/İtalyan Teknoloji Enstitüsü (IIT) projesi

Dış iskelet tasarımında cinsiyetle ilgili hususlar dikkate alınmalıdır. Cinsiyetle ilgili araştırılacak hususlara örnek olarak, kadın antropometrisinin değerlendirilmesi verilebilir.

Aktif bir dış iskeletteki bağlam ve kullanıcı gereksinimlerini karşılamak için geliştirilecek tasarım çözümlerine yönelik diğer fikirler şunlar olabilir:

- Kablolarla değil, pille sağlanan güç kaynakları. Bu seçim, dış iskeletin ağırlığını artırır, ancak işçi için hareket özgürlüğünü garanti eder. Bu nedenle, gerçekleştirilecek faaliyetin türüne bağlı olarak dikkate alınması gereken bir olasılıktır.
- Özelleştirilmiş motorlar kullanarak dış iskeletin ağırlığını azaltın. Bu, cihazı ticari motorları kullanmaktan daha hafif hale getirir, ancak fiyatını artırır.
- Cihazın fiyatını düşürün. Mesleki dış iskeletlere özel ekonomik bileşenlerin geliştirilmesi tedarikçiler tarafından garanti edilmelidir.
- Uyumluluğu artırın. Ürünün maliyetini azaltacak ve büyük ölçekli üretime olanak sağlamak için daha uyarlanabilir dış iskeletler üretin.

İMT sürecinin son adımı, tasarım bağlamı ile kullanıcı gereksinimleri arasındaki boşluğun yeterince geriye dönük tekrarlar yapılarak değerlendirilmesidir.

Ayrıca, çözümler geliştikçe (örneğin, daha hafif malzemeler, daha küçük ve daha entegre cihazlar, giyilebilir bilgi işlem, yapay zekâ), tasarımcı bir cihazı kabul edilebilir hale getirmek, daha da önemlisi kullanılmasını sağlamak için kullanıcıların yardımıyla çalışmaya devam edecektir.

Sonuçlar

Bu makalede gösterildiği gibi, dış iskeletler işçileri bazı çalışma ortamlarında belirli görevleri yaparken destekleyebilir ve bu nedenle İİKİSH'lerin önlenmesine yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bir dizi nedenden dolayı işyerinde mesleki dış iskeletlerin kullanımı hala oldukça sınırlıdır. Öte yandan, bu cihazlar ve bunların İİKİSH'ler üzerindeki gerçek önleyici etkileri hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Öte yandan, teknik zorluklar ve kullanıcı tarafından kabul edilebilirlik sorunları bu giyilebilir hizmet robotlarının iş yerindeki mevcut yayılma durumunu açıklamaktadır.

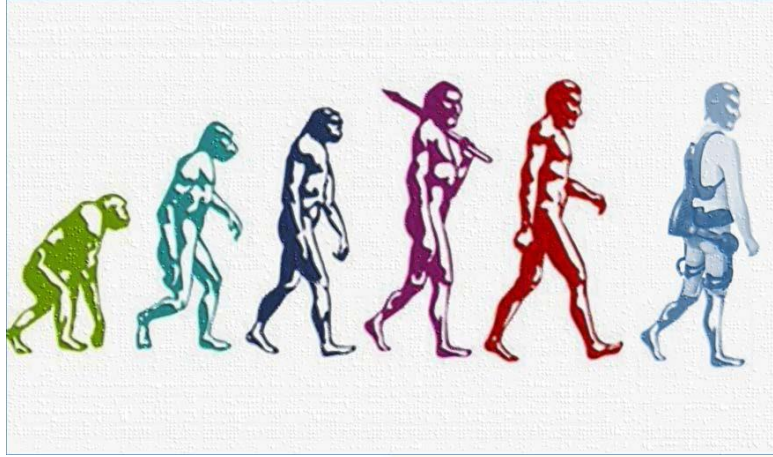
İMT yaklaşımı, kullanıcıların ortaya koyduğu gerçek ihtiyaçlara giderek daha doğru bir şekilde yanıt vererek bu sistemlerin her zamankinden daha yaygın bir şekilde kullanılmasını garanti eden bir araç olabilir.

Bu makaledeki bilgiler, yalnızca bir sonraki ergonomik trend olması için değil (Şekil 6), gelecekteki mesleki dış iskelet kullanıcı araştırmaları için potansiyel bir temel olarak kullanılabilir.

İlKİSH'larının önlenmesi için geleceğin işyerindeki mesleki dış iskeletlerin potansiyel faydalarının kalıcı olmasını sağlayacak kritik bilgiler sağlamaktadır.

Ayrıca aktif ve pasif dış iskeletlerin kullanılması, biyomekanik risk değerlendirmesi için yeni metodolojilerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Vücuda uygulanan kuvvetlerin yeniden dağılımı ve dış iskelet kullanımının gerektirdiği kinematik ve motor sistemlerdeki değişiklikler mevcut biyomekanik risk değerlendirme metodolojilerinin uygulanmasına izin vermemektedir.

Şekil 6: Varsayımsal Darwinci evrim teorisinde bir sonraki adım olarak dış iskeletler



Kaynak: Yazarların Darwin'in evrim teorisini açıklaması

Yazarlar: Luigi Monica (*), Sara Anastasi (*), Francesco Draicchio (**) – İtalyan İşçi Tazminat Kurumu (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro - INAIL)

(*) Teknolojik Yenilik ve Güvenlik Ekipmanları, Ürünleri ve Antropik Yerleşimler Departmanı, Roma, İtalya

(**) Mesleki ve Çevre Tıbbı, Epidemiyoloji ve Hijyen Departmanı, Monte Porzio Catone, Roma, İtalya

Proje yönetimi: Maurizio Curtarelli – Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA)

Onay

Yazarlar, İtalyan Teknoloji Enstitüsü'nün XoLab İleri Robotik grubuyla yapılan tartışma ve önerileri kabul eder: Jesus Ortiz, Stefano Toxiri, Jorge Fernández (for XoTrunk and FleXo), Daegeun Park (for XoArms).

Yazarlar, bu makalede yer alan görüntüleri çoğaltma iznine sahip olduklarını onaylar.

Bu makale, Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı tarafından hazırlanmıştır. İfade edilen görüşler ve/veya sonuçlar da dahil olmak üzere içeriği yalnızca yazarlara aittir ve EU-OSHA'nın görüşlerini yansıtmaması gerekir.

© European Agency for Safety and Health at Work, 2020

References

- Abdoli-E, M., Agnew, M. J., & Stevenson, J. M. (2006). An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clinical Biomechanics*, 21(5), 456-465.
- Abdoli-E, M., Stevenson, J. M., Reid, S. A., & Bryant, T. J. (2007). Mathematical and empirical proof of principle for an on-body personal lift augmentation device (PLAD). *Journal of Biomechanics*, 40(8), 1694–1700. doi: 10.1016/j.jbiomech.2006.09.006.
- Aida, T., Nozaki, H., & Kobayashi, H. (2009). Development of muscle suit and application to factory laborers. *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, IEEE, August 9–12, Changchun, China. pp. 1027–1032. DOI: 10.1109/ICMA.2009.5246279.
- Colombo, G., Joerg, M., Schreier, R., & Dietz, V. (2000). Treadmill training of paraplegic patients using a robotic orthosis. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 37(6), 693–700.
- Davis, K. G., Reid, C. R., Rempel, D. D., & Treaster, D. (2020). Introduction to the Human Factors Special Issue on User-Centered Design for Exoskeleton. *Human Factors*, 62(3), Special issue: User-Centered Design for Exoskeleton & Exosuit Usage', 333–336. doi: 10.1177/0018720820914312.
- de Looze, M. P., Bosch, T., Krause, F., Stadler, K. S., & O'Sullivan, L. W. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*, 59(5), 671–681. doi: 10.1080/00140139.2015.1081988.
- EN (2008). EN 614-2:2000+A1:2008 – Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks. European Committee for Standardization. Brussels.
- EN ISO (2019). EN ISO 9241-210:2019 – Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems. European Committee for Standardization. Brussels.
- EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work (2019). *Work-related musculoskeletal disorders: Prevalence, costs and demographics in the EU*. European Risk Observatory. Bilbao, Spain.
- Garg, A. (1995). Revised NIOSH equation for manual lifting: A method for job evaluation. *American Association of Occupational Health Nurses Journal*, 43(4), 211–216. doi: 10.1177/216507999504300408.
- Inose, H., Mohri, S., Arakawa, H., Okui, M., Koide, K., Yamada, Y., Kikutani, I., Nakamura, T. (2017). Semi-endoskeleton-type waist assist ABwear suit equipped with compressive force reduction mechanism. *Proceedings – 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Singapore, May 29–June 3, 2017*, pp. 6014–6019.
- INRS (2018). *Exosquelettes au travail: impact sur la santé et la sécurité des opérateurs – état des connaissances*. Institut National de Recherche et de Sécurité, Paris. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206311>.
- INRS (2019). *Acquisition et integration d'un exosquelette en entreprise: Guide pour les préventeurs*. Institut National de Recherche et de Sécurité, Paris. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206315>.
- ISO (2011). ISO 10218-1:2011 – Robots and robotic devices – safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO (2012). ISO 8373:2012 – Robots and robotic devices – Vocabulary. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO (2014). ISO 13482:2014 - Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO/TR (2014). ISO/TR 12295:2014 – Ergonomics – Application document for International Standards on manual handling (ISO 11228-1, ISO 11228-2 and ISO 11228-3) and evaluation of static working postures (ISO 11226). International Organization for Standardization. Geneva.

- ISO/TS (2016). ISO/TS 15066:2016. Robots and robotic devices – collaborative robots. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO/CD (2019). ISO/CD 18646-4 – Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 4: Lower-back support robots. 2019. International Organization for Standardization. Geneva.
- Jacobs, J. V., Hettinger, L. J., Huang, Y.-H., Jeffries, S., Lesch, M. F., Simmons, L. A., Verma, S. K., & Willetts, J. L. (2019). Employee acceptance of wearable technology in the workplace. *Applied Ergonomics*, 78, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.03.003>.
- Kazerooni, H., Racine, J. L., Huang, L., & Steger, R. (2005). On the control of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX). *Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation*, IEEE, pp. 4353–4360. Barcelona, Spain.
- Liedtke, M., & Glitsch, U. (2018). Exoskelette – Verordnung für persönliche Schutzausrüstung. *sicher ist sicher*, 3, 110–113.
- Ortiz, J., Di Natali, C., & Caldwell, D. G. (2018). XoSoft – iterative design of a modular soft lower limb exoskeleton. In Carrozza, M. C., Micera, S., Pon, J. L. (eds.), *Wearable Robotics: Challenges and Trends – International Symposium on Wearable Robotics, WeRob 2018, October 16–20, 2018, Pisa, Italy*, Springer, Cham, pp. 351–355.
- Park, D., Ortiz, J., & Caldwell, D. G. (2018). Novel mechanism of upper limb exoskeleton for weight support. In Carrozza, M. C., Micera, S., Pon, J. L. (eds.), *Wearable Robotics: Challenges and Trends – International Symposium on Wearable Robotics, WeRob 2018, October 16–20, 2018, Pisa, Italy*, Springer, Cham, pp. 510–514.
- Peters, M., & Wischniewski, S. (2019). *The Impact of using exoskeletons on OSH*. Discussion paper, EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work. Federal Institute for Occupational Safety and Health, Dortmund, Germany.
- Reid, C. R., Schall, M. C., Amick, R. Z., Schiffman, J. M., Lu, M. -L., Smets, M., Moses, H. R., & Porto, R. (2017). Wearable technologies: How will we overcome barriers to enhance worker performance, health, and safety? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61, 1026–1030. <https://doi.org/10.1177/1541931213601740>.
- RoamRobotics (2018). Roam Robotics. <http://www.roamrobotics.com>.
- Schall, M. C., Sesek, R. F., & Cavuoto, L. A. (2018). Barriers to the adoption of wearable sensors in the workplace: A survey of occupational safety and health professionals. *Human Factors*, 60, 351–362. <https://doi.org/10.1177/0018720817753907>.
- Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 68(5), 266–269.
- Sugar, T., Veneman, J., Hochberg, C., Shourijeh, M. S., Acosta, A., Vazquez-Torres, R., Marinov, B., Nabeshima, C. (2018). Hip exoskeleton market – Review of lift assist wearables. Wearable Robotics Association. <http://www.wearablerobotics.com/wp-content/uploads/2018/05/J12434-Hip-Exoskelton-Report-FINAL4.pdf>.
- Yang, C., Zhang, J., Chen, Y., Dong, Y., & Zhang, Y. (2008). A review of exoskeleton-type systems and their key technologies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222(8), 1599–1612.
- Zhou, L., Li, Y., Bai, S. (2017). A human-centered design optimization approach for robotic exoskeletons through biomechanical simulation. *Robotics and Autonomous Systems*, 91, 337–347.

Çeviri: Mehmet Albayrak

Editör: Kemal Üçüncü

Risk Yönetimi Derneği'nin katkılarıyla çevrilmiştir.