JOURNAL of
MATERIALS and MECHATRONICS:A

e-ISSN 2717-8811
JournalMM, 2023,4(1), 1-10
https://doi.org/10.55546/jmm.1184264

Araştırma Makalesi / Research Article

Elle Kaldırma Hareketinde Kutu Boyutunun L5/S1 Eklemine Etkisinin İncelenmesi

Melih CANLIDİNÇ[1*], Mustafa GÜLEŞEN[2]

[1] Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye,
Orcid ID: https://orcid.org/0000-0002-4011-9490, melih.canlidinc@dpu.edu.tr
[2] Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye,
Orcid ID: https://orcid.org/0000-0001-8781-2746, mustafa.gulesen@dpu.edu.tr

Geliş/ Received: 04.10.2022; **Kabul / Accepted:** 14.12.2022

ÖZET: Günlük hayatta ve çalışma koşullarında elle nesne kaldırma eylemi yaygın olarak uygulanmaktadır. Elle nesne kaldırma eylemi insan vücut eklemlerinde çeşitli yüklenmeler oluşturmaktadır. Araştırmalara göre özellikle bel bölgesi kaldırma hareketinden en çok etkilenen bölgedir ve kaldırma hareketi sırasında bel bölgesindeki omurlar incelendiğinde, moment kolunun en yüksek olduğu L5/S1 eklemindeki yüklenme en yüksektir. Elle nesne kaldırma hareketinde L5/S1 eklemine etkisinin incelendiği araştırmalarda, kaldırma hareketi nesnenin iki yanındaki nesne tabanından belirli yükseklikteki tutamaçlardan tutularak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada katılımcılar elle kaldırma hareketini önceki çalışmalardan farklı olarak kutuların altından kavrayarak gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde katılımcıların 16 kg kütleli ve 3 farklı ebattaki kutuların 2 farklı kaldırma tekniği olan çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketi sırasında L5/S1 ekleminde oluşan yüklerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Kaldırma hareketleri Microsoft Kinect v2 kamerayla kaydedilmiştir. Kutuların elle kaldırma hareketinin L5/S1 eklemine etkisini incelemek amacıyla OpenSim biyomekanik model yazılımı kullanılmıştır. Kullanılan biyomekanik modele aktarılan insan vücut eklemleri konum verilerinin ters kinematik analiziyle eklem açıları, ters dinamik analiziyle ise eklem torkları elde edilmiştir. Daha sonra eklem reaksiyon analizi yapılarak L5/S1 eklemine binen yükler değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda küçük, orta ve büyük kutularda çömelerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemine etkiyen kompresyon kuvvetleri eğilerek kaldırmaya göre %8.8-9.1-9.6 oranında artış, eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemine etkiyen kesme kuvvetleri çömelerek kaldırmaya göre %24.5-25.7-27.4 oranında artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaldırma teknikleri, Kinectv2, Kas-iskelet sistemi, OpenSim.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: melih.canlidinc@dpu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Canlıdinç, M., Güleşen, M. (2023). Elle Kaldırma Hareketinde Kutu Boyutunun L5/S1 Eklemine Etkisinin İncelenmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 4(1), 1-10.

Investigation of the Effect of Box Weight on L5/S1 Joint in Manual Lifting

ABSTRACT: Manual lifting is widely practiced in daily life and working conditions. The act of lifting objects by hand creates various loads on the human body joints. According to researches, especially the lumbar region is the region most affected by the lifting movement, and when the vertebrae in the lumbar region are examined during the lifting movement, the load on the L5/S1 joint, where the moment arm is the highest, is the highest. In studies examining the effect of manual object lifting on the L5/S1 joint, the lifting movement is carried out by holding the handles at a certain height from the object base on both sides of the object. In this study, the participants performed the manual lifting movement by grasping the bottom of the boxes, unlike previous studies. In the experiments, the loads formed on the L5/S1 joint were evaluated during the lifting movement of the participants by crouching and bending, which are 2 different lifting techniques of boxes of 16 kg mass and 3 different sizes. Lifting movements were recorded with the Microsoft Kinect v2 camera. OpenSim biomechanical model software was used to examine the effect of manual lifting of the boxes on the L5/S1 joint. Joint angles were obtained by inverse kinematic analysis of the position data of human body joints transferred to the used biomechanical model, and joint torques were obtained by inverse dynamic analysis. Afterwards, joint reaction analysis was performed and loads on the L5/S1 joint were evaluated. As a result of the experiments, the compression forces acting on the L5/S1 joint increased by 8.8-9.1-9.6% in the squat lifting movement in small, medium and large boxes compared to the stoop lift, and the shear forces acting on the L5/S1 joint in the stoop lifting movement increased by 24.5-25.7-27.4% compared to the squat lifting.

Keywords: Lifting techniques, Kinectv2, Musculoskeletal system, OpenSim.

1. GİRİŞ

Endüstriyel işlerde teknolojik gelişmelere ve otomasyonun yaygınlaşmasına rağmen birçok sektörde çeşitli işler çoğunlukla elle yapılmaktadır. Elle kaldırma hareketi yapılırken sık ve tekrarlayan manuel ağırlık kaldırma aktiviteleri ve uygun olmayan vücut duruşları kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açabilir. Kaldırma ve indirmeden kaynaklanan aşırı efordan kaynaklanan bel ağrısı, elle malzeme taşıma çalışanları için önemli bir yaralanma ve hastalık kaynağıdır.

Bel rahatsızlıkları, malzeme taşıma işleriyle ilgili kas-iskelet sistemi hastalıklarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Dünyadaki meslek hastalıklarının yaklaşık %40'ı ve ABD'de %38'i bel hastalıklarından kaynaklanmaktadır. Bu bozukluklar işe devam edememenin önemli nedenleridir (Bureau of Labor Statistics, 2019).

Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü (NIOSH), kutu kaldırma sırasında oluşabilecek bel yaralanmalarının tahmini için kaldırma denklemini oluşturmuştur. Ancak, kaldırma denklemi, statik koşullarla uğraşırken dinamik kaldırma hareketinin etkilerini incelemek için uygun bir araç değildir. (Bruno ve ark., 2015). Kaldırma hareketi dinamik olarak gerçekleştiğinden, kaldırmanın gövde eklemleri üzerindeki yüklerinin -tork ve kuvvetlerin- analizi statik hesapların yanı sıra dinamik hesaplar ile yapılmalıdır.

Ergonomik olarak uygun olmayan duruşlar, özellikle ağır nesneleri kaldırırken, manuel malzeme taşıyıcıları sırt yaralanmaları geliştirme riskini artırır (Rajaee ve ark., 2015; Jia ve ark., 2011). Çoğu çalışma, L5/S1 disk sıkıştırma kuvvetinin, kaldırma görevleri sırasındaki bel gerilmelerinin ana indükleyicisi olarak rolüne dair ampirik kanıtlar sağlar (Faber ve ark., 2020). En büyük moment kolu L5/S1 diskine etki ettiğinden kaldırma sırasında diğer disklere göre daha fazla gerilmeye maruz kalır. Bu nedenle, çömelerek kaldırma (dizler bükülü ve sırt dümdüz) endüstriyel

çalışanlara ve sporculara (özellikle haltercilere) ağırlık kaldırmak için doğru duruş olarak önerilir, çünkü çömelerek kaldırma sırasında L5/S1 diskine daha az moment yerleştirilir ve yüklenmeler belden bacaklara aktarılır (McGill ve ark., 2013).

Kaldırma hareketini inceleyen çalışmalarda, eğilme ve çömelme kaldırma tekniği olarak tanımlanmıştır (Koopman ve ark., 2018; Matthew ve ark., 2019; Vilas-Boas ve ark., 2019). Genel olarak, ağır nesneleri kaldırmak için çömelerek kaldırma önerilir, çünkü bu tekniğin, kaldırma üzerine eğilmeye kıyasla daha düşük disk sıkıştırması ve kesme kuvvetleri ile sonuçlandığına inanılır. Öte yandan, eğilerek kaldırma, çömelerek kaldırmaya kıyasla daha yüksek disk sıkıştırmasına ve kesme kuvvetlerine neden olduğu için hafif nesneleri kaldırmakla sınırlandırılmalıdır (Roozbahani ve ark., 2021). Eğilerek kaldırma sırasında gözlenen yüksek disk sıkıştırması, L5S1 eklemi etrafındaki yüksek eğilme momentinden kaynaklanmaktadır (Gholipour ve ark., 2016).

Kaldırma aktiviteleri sırasında lomber omurga, spinal yüklenmeyi tahmin etmek için birçok biyomekanik model geliştirilmiştir. Koopman ve ark. 2018, alt sırt yüklemesini mekanik olarak incelenmiştir. Faber ve ark. L5/S1 momentlerini tahmin etmek için bir biyomekanik model tasarlanmıştır (Faber ve ark., 2020). Bu modeller tasarlanırken L5/S1 eklemi ve diğer vücut parçalarının konum bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için hareket yakalama sistemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı, vücutta belirli noktalara cilt üzerine yerleştirilen işaretleyicilerle yapılan hareket yakalama sistemidir. İşaretçilerden ve sensörlerden elde edilen konum bilgileri, vücut eklemlerinin konumunu tahmin etmek için kullanılır. Ancak bu sistemin uygulanmasında çeşitli zorluklar vardır. Öncelikle sistemin kurulum maliyeti yüksektir ve özel hareket takip laboratuvarlarına ihtiyaç vardır. Sahada yapılması planlanan çalışmalarda ölçüm yapmayı zorlaştırmaktadır (Gholipour ve ark., 2016).

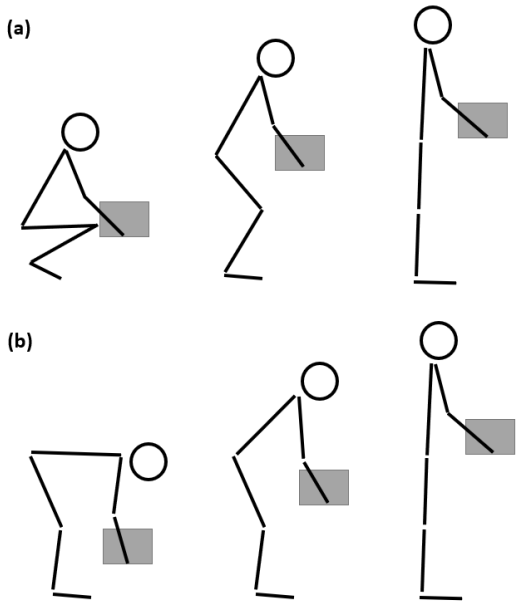
Sonraki çalışmalarda araştırmacılar, işaretçiler ve sensörler kullanarak hareket izleme sistemine alternatif yöntemler araştırmıştır. Bu çalışmaların bazılarında işaretsiz hareket yakalama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, işaretçilerle hareket yakalamaya kıyasla düşük maliyeti ve kullanım kolaylığı nedeniyle Kinect v2 kamera kullanımı tercih edilmiştir. Kinect v2, insan vücudu iskelet tanımlama fonksiyonuna sahip olması, taşınabilirlik ve kullanım kolaylığı gibi avantajlara sahiptir. Bu çalışmalara örnek olarak Vilas-Boas ve ark. 2019, yürüyüş analizi için bir Kinect kamerası kullanmıştır, Roozbahani ve ark. insan hareketlerinin gerçek zamanlı simülasyonlarını kullanmıştır (Roozbahani ve ark. 2021).

Elle nesne kaldırma hareketinin vücut uzuvlarına etkisini araştırmalara baktığımızda kaldırma hareketi, kaldırılan nesnenin (kutu, kasa vb.) her iki tarafında bulunan ve belirli yükseklikteki tutamaçlardan tutularak yapılmıştır. Fakat günlük hayatımızda bu tarz yükler, tutamaç olmadan zeminden (nesnenin altından) kavranarak kaldırılmaktadır. Daha gerçekçi bir sonuç elde edilmesi açısından, bu çalışmada kutuların altından tutularak elle kaldırma hareketinin L5/S1 eklemine etkisi incelenmiştir. Eğilerek ve çömelerek kaldırma görevleri sırasında L5/S1 eklemine etkiyen yüklerin tahmini için Kinect iskelet modelinden elde edilen ölçümlerin, bir biyomekanik modele aktarılarak ve dinamik analiz sonuçları önceki çalışmaların sonuçlarıyla değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma sağlıklı üç erkek katılımcı (erkek; yaş: 28±4, boy: 178±5 cm, ağırlık: 78±6 kg) tarafından yapılmıştır. Katılımcılar çalışmaya başlamadan önce bilgilendirilmiş ve çalışma boyunca ilgili hareket teknikleri denetlenmiştir.

Katılımcılar iki standart kaldırma tekniği olan eğilerek ve çömelerek kaldırma tekniklerini uygulamıştır. Katılımcılara iki kaldırma tekniği sözlü olarak anlatılmış ve gerçek ölçümlerden önce denemeler yapılmıştır. Eğilerek kaldırma hareketi sırasında, katılımcılara yerdeki kutuyu altından iki elle tutarak dik konuma kaldırmak için dizlerini tamamen uzatmaları ve gövdelerini eğmeleri talimatı verilmiştir (Şekil 1a); çömelerek kaldırma hareketinde ise dizler tam fleksiyonda, topuklar kaldırılarak ve gövde dik duruma yakın olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1b) (McGill ve ark., 2013).



Şekil 1. Elle kaldırma teknikleri a) Çömelerek kaldırma, b) Eğilerek kaldırma

Katılımcılardan 16 kg kütleli 3 farklı ebattaki kutuyla kaldırma hareketlerini yapması istenmiştir. Kaldırılan kutuların boyutları küçük (38x28x18 cm), orta (45x32x25 cm) ve büyük (40x40x35cm) olarak belirlenmiştir. Her bir kaldırma hareketinde kutu, sagital düzlemin ortasına yerleştirmiştir. Katılımcı kutuyu 0 cm yükseklikten (yerden) iki eliyle simetrik olarak kaldırdı ve bel hizasında ayakta tutmuştur.

Katılımcıya çömelerek ve öne eğilme kaldırma tekniğini (kaldırma sırasında dizler ve gövde hafifçe bükülü) benimsemesi talimatı verilmiştir. Pelvisin lateral pozisyonu fleksiyon ve burulma torklarını değiştirebileceğinden, katılımcının kaldırma boyunca ayaklarını kaydırmasına izin verilmemiştir (Plamondon ve ark., 1995). Ayrıca, L5/S1 ekleminin yükleme üzerindeki zaman etkisini en aza indirmek için katılımcıdan kaldırmayı yaklaşık iki saniyede (ilk kaldırmadan ayakta duran kutuyu bel hizasında tutana kadar) tamamlaması istenmiştir. Her kaldırma koşulu için beş tekrar (toplam 15 kaldırma) yapılmıştır. Altı kaldırma koşulu rastgele atanmış ve katılımcıya her kaldırma koşulu arasında oturma pozisyonunda dinlenmesi için beş dakika verilmiştir.

Kinematik veriler, tek bir Kinect v2 sensörü kullanılarak toplanmıştır. Bu sensör ile kaldırma hareketi sırasında 30Hz örnekleme hızında veriler toplanmıştır. Kinetik analizde yer reaksiyon kuvvetlerini (GRF) ve momentleri (Medical GmbH · Almanya) tespit etmek için 100 Hz örnekleme hızına sahip Zebris FDM 2 platformu kullanılmıştır. Eklem açılarını ve momentlerini hesaplamak için ölçülen veriler OpenSim 4.0'da uygulanan standart bir kas-iskelet sistemi modelleme iş akışı kullanılarak işlenmiştir (Seth ve ark., 2018; Delp ve ark., 2007). Çalışmada kullanılan iskelet-kas modeli için Rajagopal ve ark. 2016, oluşturduğu kas-iskelet modeli referans alınmıştır. Kutunun etkisini modele eklemek için kutunun ağırlığının yarısı sağ ve sol elin kütlesine eklenmiştir.

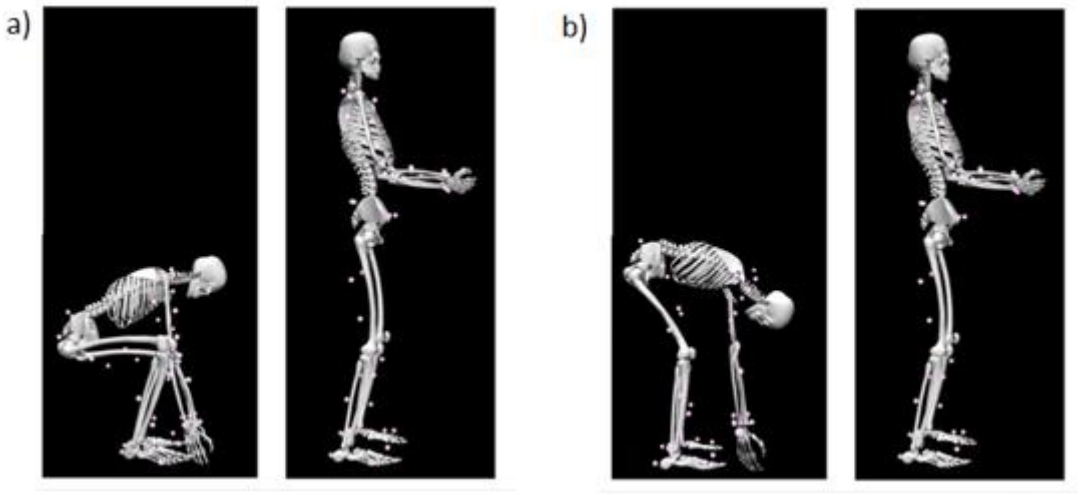
İlk olarak kullanılan iskelet-kas modeli, katılımcının antropometrisine göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirmeden sonra, üç boyutlu eklem açıları veya vücut eklem kinematiği oluşturmak için ters kinematik aracı kullanılmıştır. Burada Kinect v2'den insan vücut eklemlerinin konum verileri ve Zebris FDM 2 platformundan yer reaksiyon kuvveti (GRF) verileri OpenSim'deki biyomekanik insan modeline girilmiştir. Şekil 2'deki vücut eklem konum bilgisiyle ters kinematik hesaplama yöntemi kullanılarak vücut eklem açıları hesaplanmıştır (Rajagopal ve ark., 2016).

Daha sonra L5/S1 eklem momentlerini belirlemek için ters dinamik kullanılmıştır. Elde edilen verilerle OpenSim'in Ters Dinamik Aracı kullanılarak L5/S1 eklem momentleri hesaplanmıştır.

Ters Dinamik aracı tarafından elde edilen tam vücut hareketinde genelleştirilmiş konumları (q), hızları ($\dot{q}$) ve ivmeleri ($\ddot{q}$) oluşturmak için gerekli olan her bir eklemdeki genelleştirilmiş kuvvetleri (t) belirlemek için eşitlik (1) kullanılarak hareket denklemi çözülmüştür.

$$M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q}) + G(q) = \tau \quad (1)$$

Kütle matrisinin (M) ivmesinden kaynaklanan kuvvetlere ek olarak, Coriolis kuvvetleri (C) ve yerçekimi kuvvetleri (G) de dikkate alınmıştır.



Şekil 2. Biyomekanik modelin a) çömelerek ve b) eğilerek kaldırma hareketlerimin OpenSim yazılımdaki gösterimi

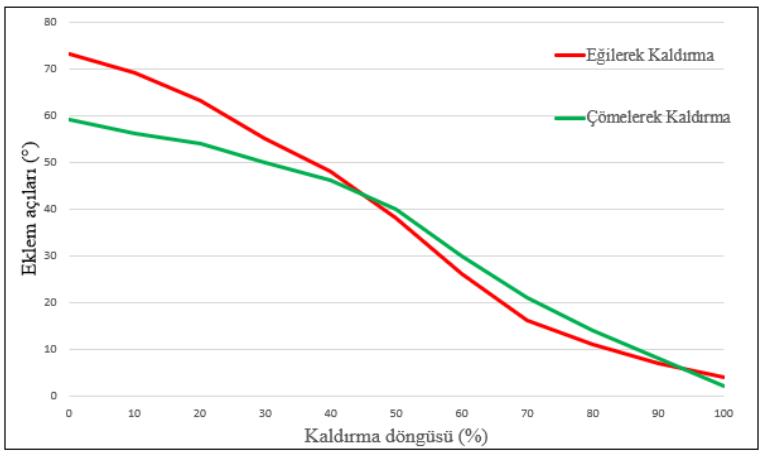
Son olarak, modele etki eden yüklerden türetilen birleştirilmiş gövdeler arasında aktarılan bileşke kuvvetleri hesaplamak için eklem reaksiyon analizi yapılmıştır. Lomber spinal yük, yerçekimi ivmesi ve eklem momenti girdisi ile dinamik denklemler çözülerek hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, elle yük kaldırma hareketinde kutu boyutlarının bireylerin bel bölgesi yaralanmalarında en yüksek riske sahip olan L5/S1 eklemine olan etkisi incelenmiştir. Kaldırma hareketi analizinde OpenSim yazılımında bir tüm vücut biyomekanik modeli kullanılmıştır. Kaldırma hareketi olarak iki farklı kaldırma tekniği olan çömelerek ve eğilerek kaldırma teknikleri esas alınmıştır. Çalışmaya 3 sağlıklı erkek katılımcı katılmıştır.

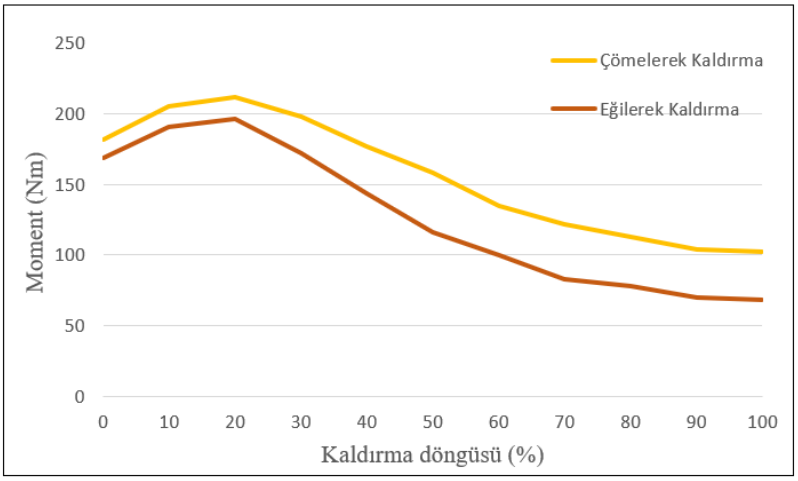
Katılımcılar kutuyu kendi rahat kaldırma hızında gerçekleştirmiştir. 16 kg kütleli küçük, orta ve büyük kutuların eğilerek ve çömelerek kaldırma hareketinde lomber (bel) bölgenin eklem hareket açıklığı değerleri küçük, orta ve büyük kutularda oldukça benzer olup Şekil 3'te gösterilmiştir. Bel

bölgesi eklem açı değerlerinde küçük, orta ve büyük kutularda eğilerek ve çömelerek kaldırma teknikleri arasında önemli ölçüde farklı olduğu tespit edilmiştir.



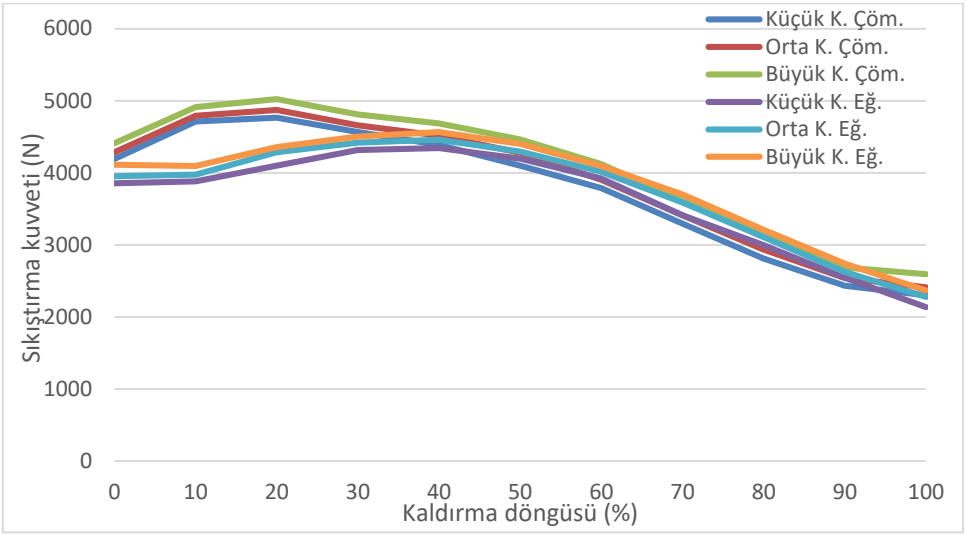
Şekil 3. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde lomber eklem açıları

Çömelerek ve eğilerek kaldırma sırasında farklı kutu boyutları için L5/S1 eklemi momentleri Şekil 4'te gösterilmiştir. L5/S1 eklem kuvvetinde sıkıştırma, kesme kuvvetleri ve ekstansiyon momenti tepe değerleri, kaldırmadan hemen sonra meydana geldi (Şekil 4-6). Çömelerek kaldırmadaki moment değerleri kaldırma süresince eğilerek kaldırmadan daha fazlaydı. 16 kg kütle kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi moment değerleri incelendiğinde çömelerek kaldırmanın eğilerek kaldırmaya göre küçük, orta ve büyük mega kutu boyutlarında %8.5-9.3 arasında arttığı tespit edilmiştir.



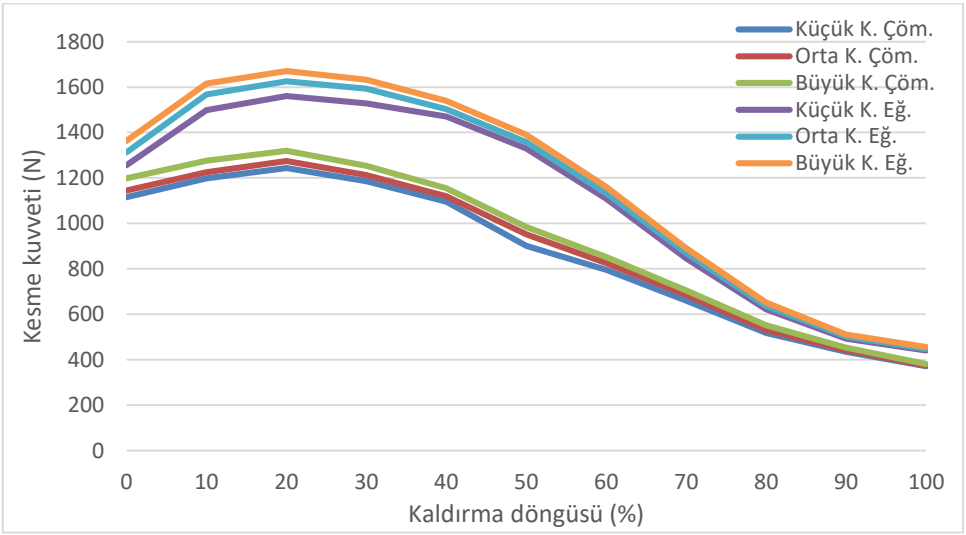
Şekil 4. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 ekstansiyon momentleri

Kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi kompresyon kuvvetleri tepe değerleri incelendiğinde eğilerek kaldırmada 4418N ile 4627N (birim kg başına N değerleri; 56.64 N/kg – 59.32 N/kg) ve çömelerek kaldırmada 4833N ile 5029N (61.96 N/kg – 64.47 N/kg) arasında olduğu ve çömelerek kaldırmanın eğilerek kaldırmaya göre küçük, orta ve büyük kutu boyutlarında %8.8-9.1-9.6 arasında arttığı tespit edilmiştir (Şekil 5).



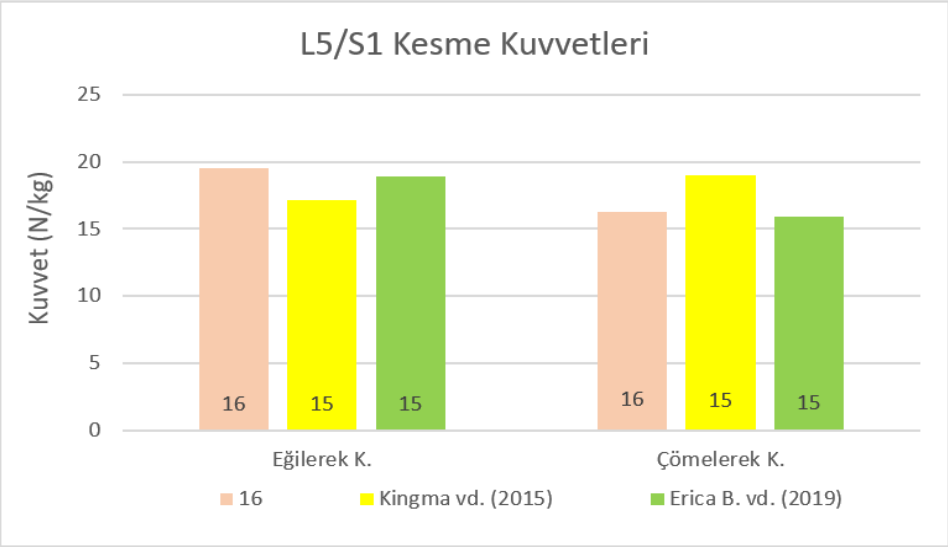
Şekil 5. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi kompresyon kuvvetleri

Kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi kesme kuvvetleri tepe değerleri incelendiğinde eğilerek kaldırmada 1568N ile 1693N (birim kg başına N değerleri; 20.11 N/kg – 21.71 N/kg) ve çömelerek kaldırmada 1249N ile 1359N (16.02 N/kg – 17.42 N/kg) arasında olduğu ve çömelerek kaldırmanın eğilerek kaldırmaya göre küçük, orta ve büyük kutu boyutlarında %24.5-25.7-27.4 arasında azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 6).



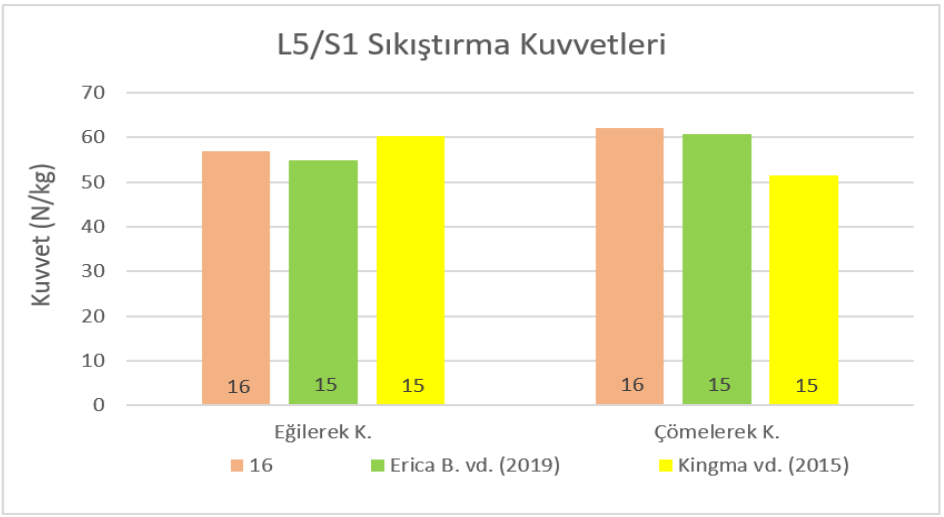
Şekil 6. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi kesme kuvvetleri

Bu bulgular birim kg başına N değerleri olarak değerlendirildiğinde, Beaucage- Gauvreau ve ark. tarafından benzer katılımcı ve görevler için yapılan çalışmalarla Şekil 7'de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kesme kuvveti sonuçlarımız,16kg için eğilerek ve çömelerek kaldırmada sırasıyla %3.1-2.5 yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak Beaucage- Gauvreau ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada kaldırılan yükün 15kg olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kingma ve ark.larının çalışmasında kaldırılan yükün 15kg olduğu ve tutamaç yüksekliğinden dolayı çalışmamızdaki kesme kuvveti değerleriyle kıyaslandında eğilerek kaldırmada %11.8 yüksek olduğu, çömelerek kaldırmada ise %16.6 düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca bu farklılığın nedeni olarak çalışmamızda kaldırma hareketinin kutu altından yapılarak L5/S1 eklemi moment kolunun uzaması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Sıkıştırma kuvvetlerini Beaucage- Gauvreau ve ark.nın çalışmasıyla karşılaştırdığımızda sonuçlarımız,16kg için eğilerek ve çömelerek kaldırmada sırasıyla %3.5-2.3 yüksek olduğu Şekil 8'de tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak Beaucage- Gauvreau ve ark.'nın yapmış olduğu çalışmada kaldırılan yükün 15kg olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kingma ve ark.larının çalışmasında kaldırılan yükün 15kg olduğu ve tutamaç yüksekliğinden dolayı çalışmamızdaki kesme kuvveti değerleriyle kıyaslandında eğilerek kaldırmada %6 düşük olduğu, çömelerek kaldırmada ise %16.8 yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca bu farklılığın nedeni olarak çalışmamızda kaldırma hareketinin kutu altından yapılarak L5/S1 eklemi moment kolunun uzaması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Çömelerek ve eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemi sıkıştırma kuvvetlerinin karşılaştırılması.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, elle yük kaldırma hareketinin bireylerin bel bölgesi yaralanmalarında en yüksek riske sahip olan L5/S1 eklemine olan etkisi incelenmiştir. 16 kg kütleli küçük, orta ve büyük kutuların altından tutularak zeminden kaldırma hareketi esnasında L5/S1 ekleminde oluşturduğu yüklenmeler hesaplanmıştır. Kaldırma hareketi analizinde OpenSim yazılımında bir tüm vücut biyomekanik

modeli kullanılmıştır. Kaldırma hareketi olarak iki farklı kaldırma tekniği olan çömelerek ve eğilerek kaldırma teknikleri esas alınmıştır.

Deneyler sonucunda küçük, orta ve büyük kutularda çömelerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemine etkiyen sıkıştırma kuvvetleri, eğilerek kaldırmaya göre sırasıyla %8.8-9.1-9.6 oranında artış, eğilerek kaldırma hareketinde L5/S1 eklemine etkiyen kesme kuvvetleri, çömelerek kaldırmaya göre sırasıyla %24.5-25.7-27.4 oranında artış göstermiştir. Kutu ebatlarındaki artış, eğilerek ve çömelerek kaldırma hareketlerinde kesme kuvveti ve sıkıştırma kuvvetlerinin artmasına neden olmuştur.

Kesme ve sıkıştırma kuvvet sonuçları eğilerek ve çömelerek kaldırma için Beaucage- Gauvreau ve ark. tarafından bulunanlara benzerdi. Kesme kuvvetleri için model tahminlerinin büyüklüğü, eğilerek kaldırmada Kingma ve ark. tarafından elde edilenlerden daha yüksek, çömelerek kaldırmada ise daha düşük bulunmuştur. Sıkıştırma kuvvetleri için model tahminlerinin büyüklüğü ise eğilerek kaldırmada Kingma ve ark. tarafından elde edilenlerden daha düşük, çömelerek kaldırmada ise daha yüksek bulunmuştur.

OpenSim yazılımının ve biyomekanik modellemelerin açık kaynak kodlu olması ve dünya çapında çalışmalarda kullanılmış olması, çalışmada kullanılan model ve yazılımı güvenilir kılmaktadır.

5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

6. YAZAR KATKISI

Melih CANLIDİNÇ ve Mustafa GÜLEŞEN çalışmanın deneysel tasarım süreçlerinde, deneylerin yapılmasında, sonuçların elde edilerek biyomekanik modele aktarılması ve sonuçların elde edilerek yorumlanması süreçlerine katkı sağlamıştır.

7. KAYNAKLAR

Bazrgari B., Shirazi-Adl A., and Arjmand N., Analysis of squat and stoop dynamic liftings: Muscle forces and internal spinal loads, European Spine Journal 16(5), 687–699, 2007.

Beaucage-Gauvreau E., Robertson W.S.P., Brandon S.C.E., Fraser R., Freeman B.J.C., Graham R.B., Thewlis D., Jones C.F., Validation of an OpenSim full-body model with detailed lumbar spine for estimating lower lumbar spine loads during symmetric and asymmetric lifting tasks, Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin. 22(5), 451–464, 2019.

Bruno A.G., Bouxsein M.L., Anderson D.E., Development and validation of a musculoskeletal model of the fully articulated thoracolumbar spine and rib cage, J. Biomech. Eng., 137(8), 1–10, 2015.

Bureau of Labor Statistics, Industry Injury and Illness Data, 2019.

Delp S.L., Anderson F.C., Arnold A.S., Loan P., Habib A., John C.T., Guendelman E., Thelen D. G., OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement, IEEE Trans. Biomed. Eng. 54(11), 1940–1950, 2007.

Dreischarf M., Rohlmann A., Graichen F., Bergmann G., Schmidt H., In vivo loads on a vertebral body replacement during different lifting techniques, J. Biomech. 49(6), 890– 895, 2016.

Faber G.S., Kingma I., Bakker A.J.M., van Dieën J.H., Low-back loading in lifting two loads beside the body compared to lifting one load in front of the body, J. Biomech. 42(1), 35–41, 2009.

Faber G.S., Kingma I., Chang C.C., Dennerlein J.T., van Dieën J.H., Validation of a wearable system for 3D ambulatory L5/S1 moment assessment during manual lifting using instrumented shoes and an inertial sensor suit, J. Biomech. 102, 2020.

Gholipour A., Arjmand N., Artificial neural networks to predict 3D spinal posture in reaching and lifting activities; Applications in biomechanical models, J. Biomech., 49(13), 2946–2952, 2016.

Hwang S., Kim Y., Kim Y., Lower extremity joint kinetics and lumbar curvature during squat and stoop lifting, BMC Musculoskelet. Disord. 10(1), 1–10, 2009.

Jia B., Kim S., and Nussbaum M. A., An EMG-based model to estimate lumbar muscle forces and spinal loads during complex, high-effort tasks: Development and application to residential construction using prefabricated walls, Int. J. Ind. Ergon. 41(5), 437–446, 2011.

Khoddam-Khorasani P., Arjmand N., Shirazi-Adl A., Effect of changes in the lumbar posture in lifting on trunk muscle and spinal loads: A combined in vivo, musculoskeletal, and finite element model study, J. Biomech. 104, 2020.

Kingma I., Faber G.S., van Dieën J.H., Supporting the upper body with the hand on the thigh reduces back loading during lifting, J. Biomech., 49(6), 881–889, 2016.

Koopman A.S., Kingma I., Faber G.S., Bornmann J., van Dieën J.H., Estimating the L5S1 flexion/extension moment in symmetrical lifting using a simplified ambulatory measurement system, J. Biomech. 70, 242–248, 2018.

Matthew R.P., Seko S., Bajcsy R., Lotz J., Kinematic and Kinetic Validation of an Improved Depth Camera Motion Assessment System Using Rigid Bodies, IEEE J. Biomed. Heal. informatics 23(4), 1784–1793, 2019.

McGill S.M., Marshall L., Andersen J., Low back loads while walking and carrying: Comparing the load carried in one hand or in both hands, Ergonomics 56(2), 293–302, 2013.

Plamondon A., Gagnon M., Gravel D., Moments at the L5/S1 joint during asymmetrical lifting: effects of different load trajectories and initial load positions, Clin. Biomech. 10(3), 128–136, 1995.

Rajaee M.A., Arjmand N., Shirazi-Adl A., Plamondon A., Schmidt H., Comparative evaluation of six quantitative lifting tools to estimate spine loads during static activities, Appl. Ergon. 48, 22–32, 2015.

Rajagopal A., Dembia C.L., DeMers M.S., Delp D.D., Hicks J.L., Delp S.L., Full-Body Musculoskeletal Model for Muscle-Driven Simulation of Human Gait, IEEE Trans. Biomed. Eng. 63(10), 2068–2079, 2016.

Roozbahani H., Alizadeh M., Ustinov S., Handroos H., Development of a novel real-time simulation of human skeleton/muscles, J. Biomech. 114, 2021.

Seth A., Hicks J.L., Uchida T.K., Habib A., Dembia C.L., Dunne J.J., Ong C.F., DeMers M., Rajagopal A., Millard M., Hamner S.R., Arnold E.M., Yong J.R., Lakshmikanth S.K., Sherman M.A., Ku J.P., Delp S.L., OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement, PLoS Comput. Biol. 14(7), 2018.

Vilas-Boas M. C., Choupina H.M.P., Rocha A.P., Fernandes J.M., Cunha, J.P.S., Full-body motion assessment: Concurrent validation of two body tracking depth sensors versus a gold standard system during gait, J. Biomech. 87, 189–196, 2019.