

# CPR(Kardiyo Pulmoner Resüsitasyon) Uygulayabilecek Sistem Tasarımı Design of a Device for CPR (Cardiopulmonary Resuscitation)

, Melehat Kızıl<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İzmir Ekonomi Üniversitesi,  
Sağlık Hizmetleri MYO, Acil ve İlk Yardım Programı  
İzmir, Türkiye  
melahat.kizil@ieu.edu.tr

L.Canan Dülger<sup>2</sup>

<sup>2</sup> İzmir Ekonomi Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Böl.  
İzmir, Türkiye  
canan.dulger@ieu.edu.tr

**Özetçe**— Resüsitasyon (resuscitation) solunumu veya kan dolaşımı durmuş bir kişiye dışarıdan yapılan destekleyici müdahalelerdir. Kardiyopulmoner resüsitasyon CPR (Cardiopulmonary resuscitation), kalbi duran kişilerde acil olarak kan dolaşımını ve solunumunu yeniden sağlamak için gelişmiş ileri yaşam desteği (ACLS) sağlanıncaya kadar ventilasyon ve ardışık göğüs kompresyonlarından oluşan uygulama yöntemidir. Bu çalışmada CPR cihazının daha işlevsel tasarım alternatifinin yanı sıra göğüs kafesinin mekanik özellikleri düşünülerek matematik modeli oluşturulmuş ve Matlab-Simulink ortamında çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** — kalp durması, CPR, mekanik tasarım, mekanik CPR cihazları, Matlab-Simulink, hastane öncesi CPR

**Abstract**—Resuscitation is supportive intervention to whom breathing or blood circulation stopped. Cardiopulmonary resuscitation is a method applied to cardiac arrest providing advanced cycle for living support (ACLS) which can continue ventilation with continuous chest compressions during emergency. This study presents more functional design alternative by utilizing mechanical properties of chest. Mathematical model is solved using Matlab-Simulink.

**Keywords** — cardiac arrest, CPR, mechanical design, Mechanical CPR devices, Matlab-Simulink, pre hospital CPR

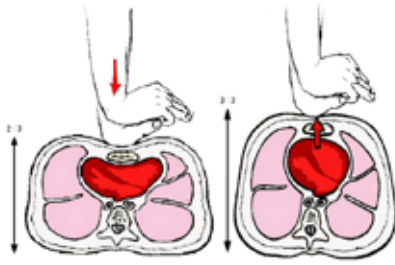
## I. GİRİŞ

Türk Kardiyoloji Derneğine göre, Türkiye’de her yıl 300 bin kalp krizi görülmekte ve bu hastalardan 125 bin kişi hayatını kaybetmektedir. Hastaların yaklaşık %30'u hastaneye yetişmeden ölmektedir. Kalp krizi sırasında hastaneye ulaşıncaya kadar ölüm oranı %20-30 hastaneye ulaşıktan sonra ise %10-20 oranındadır. Toplam olarak ele alırsa kriz sonucu ilk 24 saatte ölüm oranı %30 ile %50 arasındadır. CPR uygulaması kalbin ve solunumun aniden durması gibi acil vakalarda en kısa sürede uygulanması gereken bir ilk yardım yöntemidir. Eller ve kollar kullanılarak dışarıdan kalbe baskı (göğüs kompresyonları) ve beynini korumak için hastanın

ağzına veya burnuna nefes göndermeyi içerir. Kan dolaşımını ve solunumu destekleyerek kişiyi yaşamda tutmaya çalışır [1]. 2015 Amerikan Kalp Derneği ve Avrupa Resüsitasyon Konseyi önerileri; 30 göğüs kompresyonu, ardından iki nefes (kurtarıcı nefes alırken göğüs izlenmeli ve göğüs şişirmek için birkaç saniye harcanmalıdır) verilmelidir. [2] Kalbi duran hastaların kalbini yeniden çalıştırabilmek amacıyla etkili ve sürekli göğüs kompresyonu sağlayabilecek gerektiğinde; hastanın kalp ritmini tanıyıp CPR başlamak ya da defibrile edebilmek gereklidir. Kalbi duran bir kişiye; ilk yardımda. CPR, yetişkinler için 5-6 cm derinliğinde bastırma ve dakikada en az 100-120 oranında göğüs kompresyonları yapılmalıdır [3].

Tek başına CPR'ın kalbi yeniden başlatması olası değildir. Amaç beyne ve kalbe oksijenli kanın kısmi akışını sağlayarak doku ölümünü geciktirmek ve kalıcı beyin hasarı olmadan başarılı bir resüsitasyon için kısa fırsat penceresini genişletmektir. Defibrilasyon denegin kalbine bir elektrik şokunun uygulanması, genellikle canlı veya "perfüze edici" bir kalp ritmini eski haline getirmek için gereklidir. Defibrilasyon, asistoli veya nabızsız elektriksel aktivite yerine yalnızca ventriküler fibrilasyon veya nabızsız ventriküler taşikardi gibi belirli kalp ritimleri için etkilidir. Kalp fonksiyonunu eski haline getirmek için alta yatan koşulların tedavisini gerektirir. Uygun olduğunda erken şok önerilir. CPR, şoka uğrayabilecek bir kalp ritmini indüklemeye başarılı olabilir. CPR kişi kendiliğinden dolaşımın geri dönüşü (ROSC) olana veya ölü ilan edilene kadar devam eder [4]. Paramedik, sağlık görevlisi veya ilkyardımcının kalp basısı yaparak ve soluk vererek, kalbi duran kişinin yeniden hayata döndürme çabalarını içermektedir. CPR' in amacı, kalbin yerine geçerek hayati organları hayatta tutmak ve kan dolaşımını sağlamaktır. CPR kalbin tekrar çalışmasını başlatmaz, (kalbin kendisi yeniden akım üretmeye başlayabilir) defibrilatör gelene kadar hücreleri canlı tutar. Defibrilatör, kalbi yeniden başlatmak için kalbe

elektrik akımı gönderen bir cihazdır. Hastane dışı kalp durması için yalnızca defibrilatörlerin (2010 itibarıyla) standart CPR'den daha iyi olduğu bulunmuştur [5]. Oksijenin dokulara taşınması için kan dolaşımı ve oksijenasyon gereklidir. Ne yazık ki kalp durması ya da nefes alamama gibi durumlarda özellikle beyin dokuları oksijensiz kalmakta ve 6 dakika kalıcı beyin hücreleri hasarı meydana gelir, çünkü beyin hücreleri 4–6 dakika sonra oksijenden yoksun bir ortamda ölmeye başlamaktadırlar. CPR, kan akışı durduktan sonra 6 dakika içinde başlatılırsa etkili olabilir [6]. Ancak elle yapılan kalp masajında kuvvet ayarlaması doğru yapılmadığında kaburga kırıklarına ya da akciğer yırtıklarına sebep olabilmektedir. Mekanik CPR cihazlarının hastane öncesinde ve hastanede kullanımını anlatılan çalışmalar ayrıca incelenmiştir [7,8]. Şekil 1 de elle yapılan CRP işlemi görülmektedir [9].



Şekil 1. Elle CPR işlemi [9]

Çalışma İzmir Ekonomi Üniversitesinde sağlık bölümlerinde öğrenim gören öğrenciler üzerinde yapılan CPR araştırması sonucunda, bu alanda çok önemli bir gereksinim olduğunun, insan gücünün bir süre sonra yetersiz kaldığının anlaşılması üzerine başlatılmıştır. Bu konuda defibrilatörü de içeren CPR robotu gibi yeni bir cihaz tasarlanmasının hem insanlık hem de sağlık çalışanları için büyük bir avantaj olacağı kanısına varılmıştır. Sunulan bildiride olan CPR cihazları araştırılıp, eksik görülenlerin geliştirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Cihaza ait tasarım detayları gösterilmiş, göğüs kafesinin matematik yapısı visko elastik bir yapıda düşünülmüştür.

## II. CPR MANKENİ ÜZERİNDE KARDİYOPULMONER RESUSİTASYON ETKİNLİĞİNİN SAPTANMASI

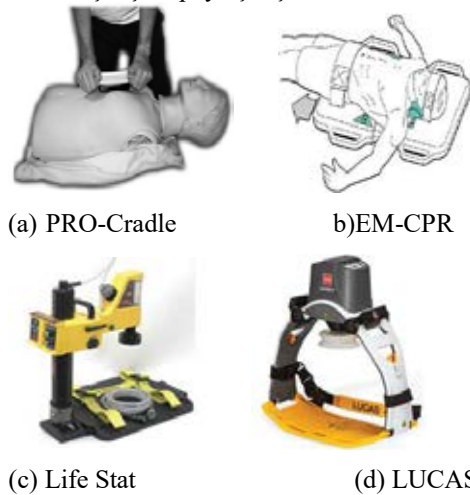
Kardiyopulmoner resüsitasyon (CPR) uygulayan kişilerin yorgunluk, ellerin terlemesi, kaburgaların kırılması, doğru bölgenin belirlenememesi vb. nedenlerle kalıcı ve etkili CPR yapamadıkları birçok çalışmada gösterilmiştir. 2015 CPR yönergelerini izleyerek bir CPR mankeni kullanarak CPR kalitesinin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma İzmir Ekonomi Üniversitesi'nde 7 farklı sağlık bilimleri programında okuyan 153 gönüllü öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Öğrencilere bir önceki eğitim öğretim yılında ilk yardım ve temel yaşam desteği eğitimi verilmiştir. Bir CPR mankenine (Ambu Manken) uygulanan CPR'nin süresi ve etkinliği ölçülmüştür. Öğrencilerin vücut pozisyonları, üfleme kapasiteleri, bası derinlikleri ve efektif bası süreleri değerlendirilmiş ve sayısal veriler t-testi ile analiz

edilmiştir. P değeri <0,05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. (Veriler SPSS 21 sürümü kullanılarak analiz edilmiştir).

Gönüllü öğrencilerin (153) %60,1'i kadın ve %39,9'u erkekti. Ortalama öğrencilerin yaşı  $20.32 \pm 03$  yıl, ortalama boyları  $169.20 \pm 26$  cm ve ortalama ağırlıkları  $65.12 \pm 42$  kg idi. Ortalama etkili CPR süresi  $2,95 \pm 86$  dk, ortalama bası derinliği 4,33 cm ve ortalama etkili üfleme kapasitesi 0,6 lt idi. Kolların pozisyonu öğrencilerin %83'ünde doğru, ve %81'inde bası yeri doğrudur. Öğrencilerin %68,6'sı kalbin pompalama aktivitesini ritmik olarak sürdürebilmiştir. Kol pozisyonu dışındaki tüm parametrelerde erkek öğrenciler kız öğrencilere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Manken üzerindeki manuel göğüs kompresyonunun dakikalar içinde hız ve etkinlik açısından etkisiz hale geldiğini göstermiştir. Bu durum insan hayatının dakikalara bağlı olduğu bu alanda çok önemli bir eksiklik olduğunu göstermektedir. Özellikle hastane öncesi ortamda, ambulans ve acil servislerde CPR (KPR) yapabilen yardımcı harici göğüs kompresyon cihazının geliştirilmesi ve devreye alınması önemlidir[1].

## III. CPR CİHAZLARI

Mekanik CPR kullanımı üzerine bir derleme çalışmasında sistemin avantaj ve sorunlarını detaylı olarak göstermişlerdir. Konu üzerinde yapılmış çok sayıda cihaz tasarımı ve patentlerine rastlanmıştır. Otomatik cihazlar elle yapılan CPR dinamiğini taklit etmektedir. Mekanik cihazların birçok koşulu sağlaması gerekmektedir; öncelikli olarak çok önemli sayılan özellik hastane dışı kullanım için; verimlilik (masajın hassas ve emniyetli olması, hızlı konumlandırabilme), çeşitlilik (ECG alma, nabız bakma gibi) ve cihazın güvenilirliğidir. (Batarya ömrü, cihaz durmadan çalışması vs) Günümüzde CPR cihazlarında piston veya bantlı uygulamada olan örneklerden bazıları Şekil 2 de gösterilmiştir. Aygün M. Ve ark. [10] mekanik CPR cihazlarının tarihsel gelişimi ve sınıflandırması üzerine bir çalışma paylaşmışlardır.



Şeki 2. CPR Cihaz Örnekleri [5]

Nabız varlığının algılanmaması, defibrile etme özelliğinin olmaması, özellikle hareket ettirilmemesi gereken travma hastalarının aleti sırt kısmına yerleştirmek için hareket ettirmek zorunda olunması farklı alternatif tasarımları

düşünmeye itmiştir. Robotik sistemlerin kullanımını içeren çalışmalara da rastlanmıştır. Y. Li ve Q. Xu 3 serbestlik derecesine sahip bir paralel manipülatör ile CRP işlemini yapmışlardır [11]. Ülkemizde son zamanlarda yapılan bir tez çalışmasında M.A Tamokur [12] farklı bir tasarım ve ilk örnek testlerini sunmuştur. KBÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesinde robotik kol şeklinde CPR yapabilen hastane içi kullanıma yönelik sistem geliştirilmiş, patent çalışmaları devam etmektedir [13].

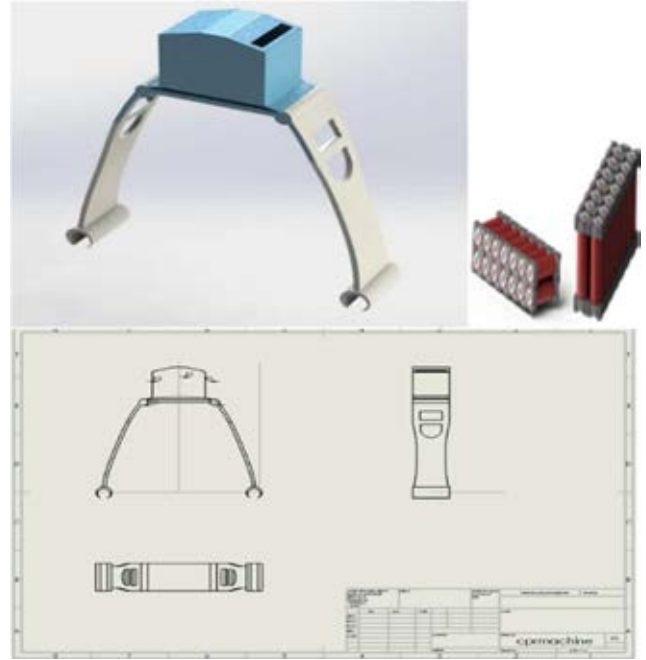
#### IV. CİHAZ TASARIMI

Özellikle hastane dışında kullanılacak ilk yardım CPR cihazlarında bulunması gereken özellikler Tablo 1 de özetlenmiştir [5]. İlk yardım CPR cihazlarında cihazın performansını belirleyen faktörler ağırlık, kurulum süresi, güvenilirlik, sıkıştırma derinliği, masaj tipleri, kuvvet, sensörler ve sinyal çeşitliliği olarak belirtilmektedir.

TABLO I. HASTANE DIŞINDA KULLANILACAK CPR

CİHAZ PERFORMANSI	
Boyutlar	<350x200x200 mm
Ağırlık	<5 kg
Kurulum Süresi	<20 s
Güvenilirlik, Kullanım	Avrupa Standartları, 20 yıl
Sıkıştırma derinliği	5
Sıkıştırma	100 S/dakika
Elle masaja izin, Masaj durmadan defibrilasyon	Evet
Masaj tipleri	Göğüs
Uygulanacak kuvvet	Göğüs
Sensörler	Sıkıştırma dalga biçimi, pals, hız
Ventilasyon, Sinyaller	Evet, Akustik ve görsel

M.S. Peravali ve ark. [14] CPR cihazında mekatronik tasarım düşünerek; mekanik yapı, donanım ve yazılımla birlikte sunmuşlardır. Çalışmada hastane dışı kullanılacak sistemlere bakılarak mekanik tasarımda CPR cihazının şekli uçlarından esnetilebilen C gibi görünmektedir. Böylece sedye ve bulunan yere geçirilebilme özelliği olabilecektir. Boyutları 560x520x240 mm olarak tasarlanmış ve 3 parçadan oluşmaktadır. (Şekil 3(a)-(b)). Kollar esneyebilen polipropilen malzeme olarak düşünülmektedir. Gövde kısmında malzeme farklıdır. Pompa kısmı yumuşak plastik olacaktır. Tasarlanan cihaz mekanik gövde, donanım ve yazılım olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. Arduino Uno (ATmega328P), adım motoru, Motor sürücüsü (L298N), çift role sürücüsü (BC547 NPN), pnömatik silindir, kompresör ünitesi, kalp hızı ölçüm sensörü (XD-58C), güç kaynağı (batarya) ve dokunmatik ekrandır (2,8 inç TFT ekran-240x320 piksel). Cihazın kullanılabilirliğin etkiyecek en önemli faktörlerden birisi batarya olduğundan piller 18650 Lityum iyon, 18mm x 65mm boyutlarındadır. Voltaj 3.6V, 3500 mAh ve 49 gramdır. Batarya diziliminde 7s2p (7 seri ve 2 paralel) olarak 14 batarya olarak düşünülmüştür. Sonuçta 7000 mAh ve 25.2V sağlayacak ve toplamda 696 gram olacaktır. [15-19]. Tablo 2 de tasarlanan sistemde gerekli sensör ve güç detayları verilmektedir. Şekil 3'te 3B olarak gösterilen mavi yapının içerisinde yerleştirilecek olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. Mekanik Yapı-Batarya dizilimi ve 3 Boyutlu Gösterim

TABLO II. ELEKTRONİK PARÇALAR

Parça İsmi	Adet
LG INR18650 MJ1 Li-On Batarya	18
Pnömatik Piston	1
250 W-24 V DC Motor	1
ARDUINO	1
Pals Sensörü	1
Hall Etki Sensörü	1
KEYESTUDIO Çift Yönlü Röle	1
L298 DC-Adım Motor Sürücüsü	1
ARDUINO LCD Ekran	1

#### V. MATEMATİK MODEL

CPR işlemi sırasında uygulanan kuvvetin karmaşık bir biyolojik yapı; göğüs kafesi, göğüs kasları, diyafram, kalp, ciğerler, kan damarları ve hava yolları üzerinden değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğru bir model için göğüs kafesinin ve intratorasik organların visko elastik özellikleri deneysel çalışmalardan incelenmiştir [20-22]. Göğüs hareketlerinin matematiği sıkıştırma ve geriye dönüşte sistem yay-kütle ile visko elastik bir yapı olarak alınmıştır. Burada göğüs kafesi ve iç organları yay direngenliği (k), sönümleyici etki (c) ve eşdeğer kütle (m) olarak gösterilmektedir. Çalışmalar Şekil 5'te görüldüğü gibi bir model üzerinde gerçekleştirilmiştir [20]. Yay kuvveti ve sönümleyici kuvvet F toplam uygulanan kuvvet (N),  $F_e$  elastik kuvvet (N),  $F_d$  Sönümleyici kuvvet (N), x göğüs kafesi bası mesafesi (cm),  $\dot{x}$  bası hızı (cm/s) olarak düşünülmektedir.



Şekil 5. Dinamik Model [20]

Göğüs kafesinin kuvvet altında gösterdiği tepki, kuvvet, yay ve aşağıdaki gibi gösterilir. Gruben K.G. ve ark.[23] 4 parçadan oluşan doğrusal spline olarak tanımlamıştır. Eşitlik (4) te verilmektedir. İnsana karşılık gelen dirençlik değerleri ve sönümleme olduğu gibi alınmıştır.

$$F(t) = F_e + F_d \quad (1)$$

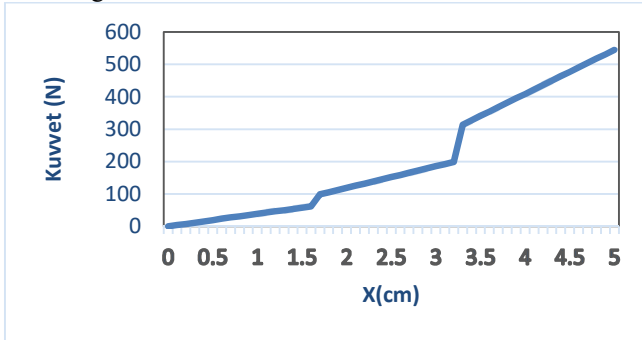
$$F(t) - F_e - c\dot{x} = 0 \quad (2)$$

$k_i$  spline ( $i=1, 4$ ) parametrelerini temsil eder. Burada ise 4 farklı kuvvet aralığında oluşan göğüs kafes dirençlik değerleridir.

$$F_e = \begin{cases} k_0 + k_1x, & 0 \leq F_e < 20 N \\ 20 + k_2(x - x_1), & 20 N \leq F_e < 100 N \\ 100 + k_3(x - x_2), & 100 N \leq F_e < 300 N \\ 300 + k_4(x - x_3), & 300 N \leq F_e \end{cases} \quad (3)$$

$$x_1 = \frac{(20-k_0)}{k_1} \quad x_2 = x_1 + \frac{80}{k_2} \quad x_3 = x_2 + \frac{200}{k_3} \text{ tür.}$$

Yetişkin insan vücudu için alınan değerler [23];  $k_0=0$ ,  $k_1=37,4$  N/cm,  $k_2=66,8$  N/cm ve  $k_4=282$  N/cm dir. Sönümleyici değer 0,14-0,23 aralığında belirtilmekte olup  $c=0,23$  Ns/cm kullanılmıştır. Şekil 5'da bası derinliğine karşı gelen bası kuvveti gösterilmektedir.



Şekil 6. Bası Kuvveti-Bası Derinliği

## VI. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

CPR, hayatta kalma şansını artırmak için çok önemli bir hayat kurtarma yöntemidir. CPR temelinde çalışan birçok cihazın yanı sıra, taşınabilir ve kullanımı kolay farklı tasarım alternatifleri incelenmiştir. CPR mankenin üzerinde yapılan CPR LUCAS [5] ın eksik işlevlerinin tamamlanması temelinde düşünülen cihazda puls gösteriminin takip edilmesi, defibrilasyonun dahil olması ve sedeye takılabilir olarak düşünülmesi şu anda eklenenlerdir. Bir proje içeriğinde geliştirilen çalışma da tasarım detaylandırılıp, market araştırması tamamlanmış durumdadır. Prototip ile bir ileri aşamaya geçilecektir. Amaç CPR işlemlerinin kalitesini artırarak daha çok hayat kurtarabilmektir.

### Bilgilendirme

Çalışma İzmir Ekonomi Üniversitesi Müh. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü ve Sağlık Hizmetleri MYO ile birlikte FENG 497-FENG 498 Projeleri çerçevesinde yapılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Kızıl, M., Şemin, M., Determination Of Cardiopulmonary Resuscitation Effectiveness On The Cpr Manikin, EUSEM 2018, 12th European Emergency Medicine Congress, Glasgow-UK,
- [2] Zideman, D.A., De Buck, E.D.J., Singletary, E.M., Cassan, P., Chalkias, A.F., Evans, T.R., Hafner, C.M., Vandekerckhove, P.G., European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015, S.9, First aid Resuscitation, 95, 278-287.
- [3] Neumar RW, Shuster M, Callaway CW, Gent LM, Atkins DL, Bhanji F, Brooks SC, de Caen AR, Donnino MW, Ferrer JM, Kleinman ME, Kronick SL, Lavonas EJ, Link MS, Mancini ME, Morrison LJ, O'Connor RE, Samson RA, Schexnayder SM, Singletary EM, Sinz EH, Travers AH, Wyckoff MH, Hazinski MF, Part 1: Ex. Summary: 2015 American Heart Ass. Guidelines., Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care., *Circulation*. 2015, Nov3;132,S15-67.
- [4] Werman HA, Karren K, Mistovich J (2014). "Shock and Resuscitation". *Prehospital Emergency Care (10th ed.)*. Pearson Education, 410-426.
- [5] Remino, C., Baronio, M., Pellegrini, N., Aggogeri, F., and Adamini, R., "Automatic and manual devices for cardiopulmonary resuscitation: A review", *Advances in Mechanical Engineering*, 10 (1): 1-14 (2018).
- [6] Cummins R.O, Eisenberg M.S, Hallstrom A.P, Litwin P.E. Survival of out-of-hospital cardiac arrest with early initiation of cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med*. 1985 Mar;3(2):114-9.
- [7] Camper, K., Smyth, M., Perkins G.D., Mechanical Devices for Chest Compression: to use or not to use? Review, *Cardiopulmonary Resuscitation*, 2015, V.21, N.3, 188-194
- [8] Poole, K., Camper, K., Smyth, M.A., Yeung, J., Perkins, G.D., 'Mech. CPR: Who?, When?, How?-Review', *Critical Care*, 2018, 22:140, 1-9.
- [9] <https://sesantld.com.tr>
- [10] Aygün, M., Yavan H.E., Genç, A., Karadağlı F., Eren N.B, Mechanical Chest Compression Devices: Historical Evolution, Classification and Current Practices, A short Review, *Eurasian Journal of Emergency Medicine Review*, 2016; 15: 94-104.
- [11] Li, Y.Xu, Q., 'Design and Development of a Medical Parallel Robot for Cardiopulmonary Resuscitation', *IEEE/ASME Tr. On Mechatronics*, V.12, N.3, 2007, 265-273.
- [12] Tamokur, M.A., 'Otomatik Kemerli Kardiyopulmoner Resisitasyon (CPR) cihazı ve Test Sistemi Tasarımı', 2021, Y.LTezi, Biyomedikal Müh., FBE-Karabük Üniversitesi
- [13] <https://www.donanim.haber.com> (03.08.2022)
- [14] Peravali, M.S., Rao, G.B., Krishna, R., 'Design and Development of a Mechatronics System to Perform Continuous Chest Compressions During CPR', 2017, *Ind. J. Sci. Res.*, 17(2), 102-106
- [15] <https://www.hepsiburada.com/robokolik-nabiz-kalp-ritmi-sensoru-pulse-sensor-pm-HB00000B4XMT>
- [16] 18650 Battery Cells. <https://www.batteryjunction.com/18650.html>
- [17] <https://www.direnc.net/arduino-lcd-shield>
- [18] <https://urun.n11.com/sarj-edilebilen-pil/ig-inr18650-mj1-li-ion-pil->
- [19] <https://www.direnc.net/l298-dc-step-motor-suru>
- [20] Stanley, A.A., Healey, M.R., Kuckenbecher, K.J., 'Recreating the feel of the human chest in a CPR manikin damping', *IEEE Haptics Symp.*, 2012, 37-44.
- [21] Jalali, A., Vinanay, M.N., Nataraj, C., 'Modeling Mechanical Properties of the chest during the Cardiopulmonary Resuscitation Procedure', *Computing in Cardiology* 2014, 41: 13-16.
- [22] Xinwu, X., Feng, T., Quiming, S., Zhang, W., Aijvan, N., and Mingxi, H., 'A Simulator of Human Chest that Simulated Force-Sternal Displacement relationship during CPR', *IEEE* 2009, 1-4.
- [23] Gruben, K.G, Halperin H.R., Papel, A.S., Tsitlik, J.E., Canine Sternal Force-Displacement Relationship During CPR', *IEEE Tr. On Biomedical Eng.*, V.46, No:7, 1999, 788-796.