

Baklagillerde Simbiyotik Kök Nodül Gelişimi

Symbiotic Root Nodule Development in Legumes

Elif YÜZBAŞIOĞLU¹ 

¹ *İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı, Beyazıt, İstanbul, Türkiye*

Öz

Baklagiller hem insan ve hayvan beslenmesi, hem de toprak verimliliğinin artırılması yönünden önemli bir doğal kaynaktır. Baklagillerin ayırt edici bir özelliği de çeşitli gram negatif kök nodül bakterileri ile azot-fiksasyonu simbiyotik ortaklığı kurma yetenekleridir. Bakteri ve bitki arasında gerçekleşen bu simbiyotik ilişki, bitkinin kök dokusunda özelleşmiş bir yapı olan nodül dokusu içerisinde gerçekleşmektedir. Nodül oluşumu, bitki kökleri tarafından salgılanan flavonoid sentezi ile başlar ve bitki ve bakteri arasında gerçekleşen oldukça karmaşık bir dizi sinyal ilişkisini içermektedir. Bu derleme çalışmasında, bitki köklerinde oluşan nodül dokusunun oluşum mekanizması ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

Anahtar kelimeler: Azot fiksasyonu, kök, nod faktör, simbiyosom.

Abstract

Legumes are an important natural resource both for human and animal nutrition and for increasing soil fertility. A distinctive characteristic of legumes is their ability to engage in a nitrogen-fixing symbiosis with diverse groups of gram negative root nodule bacteria. This symbiotic relationship between the bacteria and the plant can form within the nodule tissue that specialized structure in the root tissue of the plant. Nodule formation involves a very complex cascade signal between plant and bacteria, starting with the flavonoid synthesis secreted by the plant roots. This review has widely explained the mechanism of the formation of nodule tissue in plant roots.

Keywords: Nitrogen fixation, nod factor, symbiosome, root.

I. GİRİŞ

Bitki kökleri su ve mineral madde taşınması ile hormon sentezi gibi fonksiyonları yerine getirmektedir. Ayrıca kök-toprak yüzeyi ile çevresindeki ortam ile iletişim halinde olmasını sağlamaktadır. Toprak içerisinde azot kaynağı sınırlandırıldığında, Baklagillere ait bitkiler *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Bradyrhizobium* ve *Azorhizobium* gibi toprak bakterileri ile simbiyotik ilişki içine girmektedirler ve bunun sonucunda azot fikse edebilen nodül dokusunu oluşturmaktadırlar [1]. Bu ilişki bitki ve bakteri arasında sinyal değişimi ile başlamaktadır. Bitki tarafından bakteriyi çekimleyen flavonoidler salgılanmakta ve bitkiye cevap olarak bakteri lipopolisakarit yapıda bir nod faktör sinyali oluşturmaktadır. Böylece kök tüyünde oluşan deformasyon ile bakterinin bitki hücre zarı tarafından oluşturulan enfeksiyon ipliği içerisinde ilerlemesi sağlanmaktadır. Bitki korteks dokusuna ilerleyen bakteri, hücre içerisinde peribakterioid membran ile sarılarak oluşan bakterioid yapısında azot fiksasyonuna başlamaktadır. Bunun bir sonucu olarak değişen korteks dokusu ile kök dışında gözle görülebilen nodül dokusu oluşmakta ve *Rhizobium* bakterileri nitrojenaz enzimi ile serbest halde bulunan azotu amonyağa dönüştürerek azot fiksasyonu olayını gerçekleştirmektedir [2].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, Baklagil grubundaki bitkilerde *Rhizobium* bakterisi ile ortak yaşam sonucu oluşan nodül dokusunun oluşum süreci, azot fiksasyonu ve nodül senesensi gibi fizyolojik olaylar önem kazanmaktadır. Nodül dokusu, azot fiksasyonu sürecinde bakteri ve bitki dokularının bir arada oluşturdukları ve fizyolojik olarak karşılıklı sinyal iletişimi kurdıkları özelleşmiş yapılardır. Bu nedenle bu dokuda meydana gelen olayların anatomik, fizyolojik ve moleküler düzeyde anlaşılması oldukça değer kazanmaktadır. *Medicago truncatula* ve *Lojuz japonicus* model bitkilerinin genom dizilenmesi tamamlandıktan sonra, Baklagiller-*Rhizobium* bakterileri arasındaki simbiyotik ilişkinin mekanizması hızla aydınlatılmaya çalışılmaktadır [2].

II. BAKLAGİLLER VE AZOT FİKSASYONU

Dünya florasında yaklaşık 650 cins ve 16000 tür ile temsil edilen Baklagiller (Leguminosae), tarım alanında ekonomik değere sahip Buğdaygillerden sonra gelen oldukça önemli olan bir familyadır. Leguminosae familyasına ait bitkiler Angiospermler içinde üçüncü büyük, yem ve gıda bitkileri içinde ikinci büyük grubu oluşturmaktadır [3]. Ayrıca Baklagiller gerek insan ve hayvan beslenmesi, gerekse toprakların verimliliklerinin artırılması

açısından doğal bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Tohum ve sürgünleri protein, yağ, karbonhidrat, mineral, vitamin ve diğer yararlı sekonder metabolitler açısından da oldukça zengindir. Protein kaynağı olarak, tahıllar ile karşılaştırıldığında %24 daha fazla protein içermektedir [4] Örneğin Asya'da ve Amerika'da soya fasulyesinin, ülkemizde de birçok baklagil türlerinin besin olarak tüketilerek tarımı yapılmaktadır. Dünya çapında tarım alanlarının % 12-15 inde baklagil ekimi yapıp, elde edilen ürün 247 milyon tonu bulmaktadır. Bunlara ek olarak, soya fasulyesi ve *Pongamia pinnata* (*Milletia pinnata*) gibi bitkiler yüksek yağ içeriğinden dolayı gelecekte sürdürülebilir biyoyakıt olarak da değerlendirilmektedir [5] Baklagiller arasında besin değeri yüksek önemli bitkiler arasında soya fasulyesi, fasulye, bakla, bezelye ve nohut sayılabilir. Son yıllarda özellikle yem bitkisi olarak kullanılan *Medicago* türleri de önem taşımaktadır [6].

Baklagillerin önemli özelliklerinden bir diğeri de, toprakta bulunan *Rhizobium* bakterileri ile kurdukları ortak yaşam sonucu atmosferdeki %78 oranındaki moleküler azotu toprağa bağlamalarıdır [7]. Tarımı yapılan Baklagiller yılda tahmini olarak yaklaşık 40-60 milyon ton atmosferik azotu fikse edebilmekte ve bu da yaklaşık olarak 10 milyar dolar değerinde gübre kullanımına denk gelmektedir [2]. Bunun bir sonucu olarak gelişmekte olan ülkelerin önemli bir sorunu haline gelen yüksek gübre fiyatları ve çiftçilerin kısıtlı gübre kullanımı konusuna olumlu bir yaklaşım getirerek ekonomik avantaj sağlanmaktadır Bu durum azotlu gübre kullanımını azaltmakta ve kendinden sonra ekilecek bitkinin verimini olumlu yönde etkilemektedir. Bu yeteneği de bilindiği gibi *Rhizobium* adı verilen bakteri ile simbiyotik olarak diğer bir deyimle karşılıklı birbirinden fayda sağlayarak gerçekleştirirler [8]. Bu noktada dünya tarımı açısından bu önemli biyolojik fonksiyonun anlaşılmasına çalışılması araştırmacıları *Medicago truncatula* bitkisini model bitki olarak seçmeye yönlendirmiştir [2].

III. NODÜL GELİŞİMİ

Simbiyosis olayının başlayabilmesi için bakteri ve bitki kök hücrelerinin birbirlerini tanıması gerekmektedir. Kök sızıntısı simbiyotik ilişkide kısmen özgünlüğü belirlemektedir. Her bir *Rhizobium* türü spesifik bir flavonoide ve isoflavonoide cevap vermektedir (Şekil 1; 1. basamak). Çoğu *Rhizobium* türü sadece özelleştikleri baklagil türleri ile ilişki içindedir, ancak bazı türlerde geniş bir konakçı aralığı bulunmaktadır [9]. Simbiyotik ilişkinin ilk aşamasında, bakteriler konakçı bitkinin kökleri tarafından üretilen flavonoidler sayesinde rizosfere doğru hareket ederler [1]. Flavonoidler, bakterideki hücrelerarası lipo-kito-oligosakkarit nodulasyon faktörünün (NF) sentezinden sorumlu bakteriyel genlerinin transkripsiyonunu teşvik eder [10,11]. Nod faktör lipo-kito-oligosakkarit sinyal molekülü olup bir kitin β -1-4-bağlı N-asetil-D

glukozamin iskeletine ve indirgenmemiş şekerin C-2 pozisyonundaki bir yağ aside zincirine sahiptir. Konakçı-simbiyont özgünlüğü için esas belirleyici etmen NF yapısındaki oligosakkarit iskelete bağlanan yapılarıdır [12, 13]. Uygun *Rhizobium* türleri ve onlara ait NF bulunması nodül gelişimini teşvik için yeterlidir. Kök tüyünün uç kısmı enfeksiyon sürecinde bakterinin ilk hedefidir, muhtemelen kök tüyünün zayıf ve daha az çapraz bağlı hücre duvarı mikrotübüllerin yeniden organizasyonuna izin vererek, büyüyen kök tüyü ucunda hücre içi veziküler trafik değişecek ve bakterinin hücre içine girişi daha mümkün hale gelecektir. *Rhizobium*'un kök tüyüne yapışması ile 6-8 saat içinde kök tüyü deformasyonu uyarılmakta ve kortikal hücre bölünmesi teşvik edilmektedir [14].

Rhizobium'un bitki köküne girişi kök tüyü aracılığı ile ya da epidermis dokusundaki yarıklardan olmaktadır [14]. Kök tüyü enfeksiyonu simbiyosiste en temel yöntemdir ve enfeksiyon ipliği yapısını oluşturmaktadır. Enfeksiyon ipliği bitki hücre duvarı bileşenlerinden oluşan tubular yapıda olup, bitkinin korteks hücreleri içine bakterinin girişinde rol oynamaktadır [15]. *Rhizobium* zedelenmiş kök tüyü ucundan bitki hücrelerine giriş yapar (Şekil 1, 4. ve 5. basamak), küçük oranlarda bölünen bakteri kapsül içinde yer almaktadır [1]. Eklenen bu mikrokoloniler tahminen NF konsantrasyonunu zenginleştirdiği gibi hücre duvarı yıkım enzimlerini de arttırmaktadır. Bakterinin konakçı plazma membranına değil hücre duvarına nüfuz etmesini yeniden sentez ve yıkım olayları takip etmektedir. Yenilenen bu döngü viskoz hücrelerarası matriks içine gömülü mikrokoloniler ve devam eden bakteri büyümesinin oluşturduğu "ileri" basınç ile beraber bir çift oluşturmaktadır. Bu ileri basınç kök tüyü turgor basıncına karşı bir "itme" gücüne ihtiyaç duyulduğundan meydana gelmektedir. Bu dinamik süreçlerin sonucu olarak, (Şekil 1, basamak 6 ve 7) bitki hücre duvarından türevlenen, hücrelerarası matriks içine gömülü çoğalan bakterinin doldurduğu enfeksiyon ipliği formu oluşmaktadır [15]. Soya fasulyesinde, kök tüyü enfeksiyonu *Rhizobium* ile temastan 12 saat sonra gerçekleşmektedir [16].

Bitki köküne akın eden bakterinin NF üretme yeteneği devam etmektedir. Artan NF seviyesi kök korteks hücrelerinde mitotik aktiviteyi teşvik etmektedir. Bu olay sonucu ile nodül primordiyumu gelişir (Şekil 1, basamak 8). Primordiyumu oluşturan radyal pozisyonundaki hücre bölünmesini etilen hormonu değişik seviyelerde kontrol etmektedir [17]. Bundan dolayı çoğu zaman nodül yapısı ksilem radyal hücreleri yakınında, floem dokusundan uzak bölgelerde gelişmektedir. Enfeksiyon ipliği, kök tüyünden korteks tabakasına ve yeni oluşan bölünmekte olan hücrelere doğru büyümektedir. Bakteriler, enfeksiyon ipliğinin büyüyen ucundan konakçı hücre sitoplazmasında enfeksiyon damlacığına doğru salınmaktadır. Endositoz olayına benzer şekilde bakterileri peribakterioid membran olarak isimlendirilen aynı

zamanda simbiyozom olarak da bilinen bitki hücre membranından kökenlenen bir membranla çevrilmektedir [18].

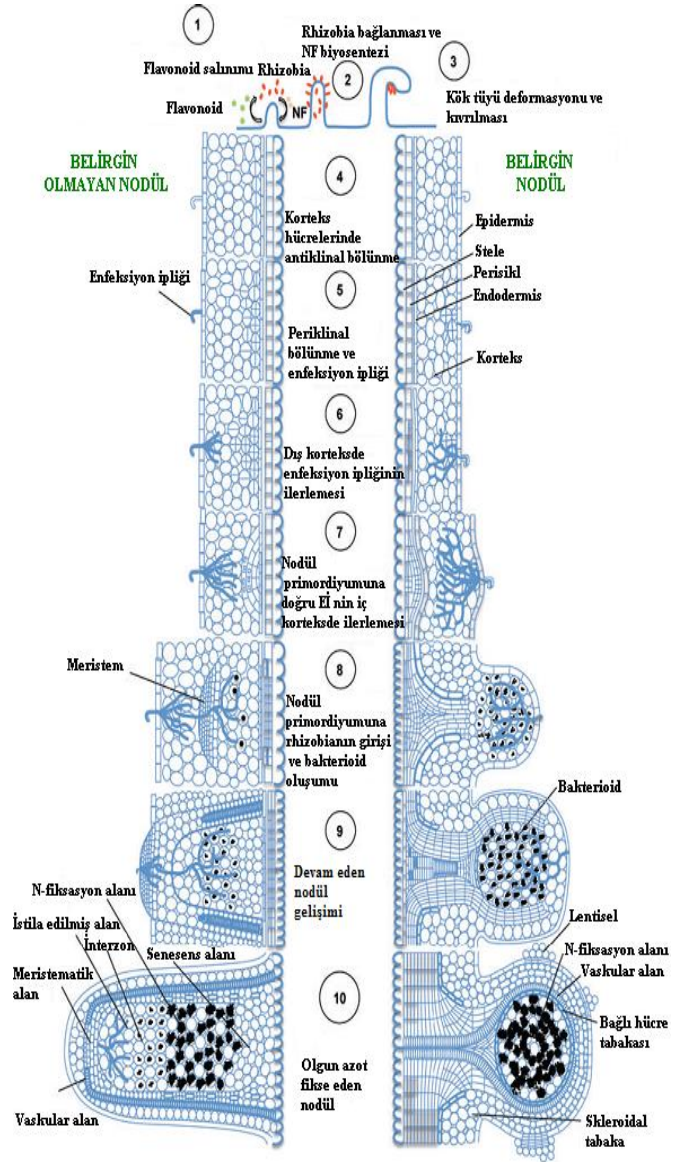
Konakçı hücre içinde membran ile kaplı bakteri bölünmeye devam ederken yani bakterioide farklılaşmadan önce azot fiksasyonuna başlamaktadır [19]. Bakterioide tarafından atmosferik azot amonyağa çevrilir ve daha sonra bitki tarafından assimile edilerek glutamin sentaz enzimi tarafından glutamine dönüştürülmektedir. Amonyanın hızlı dönüşümü farklı bir gradient oluşturur, bu gradienti sağlayan öncelikli durum bakterioiddan dışarıya verilen amonyak miktarıdır [18]. Vaskular dokunun yanısıra korteks tabakasını içeren merkezi dokuda enfekte olmuş (Şekil 1, basamak 9, 10) ve olmamış hücreler bulunmaktadır [20, 21]. Nodül içerisinde, komşu bitki hücrelerinde ve bakterioide arasında gerekli besin maddelerinin değişimi olmaktadır. Peribakterioide membrana karşı oluşan membran potansiyeli pasif taşınma ile sürdürülmektedir. Bu durum da simbiyozom içine besin taşınmasını kolaylaştırmaktadır [18]. Bu mekanizma, nodül içinde bakterioidlere malat gibi fotosentez ürünü bileşiklerin özümsemesine ve glutamin gibi fikse edilmiş azotu da içeren çeşitli bileşenlerin köklere geçişine izin vermektedir [1].

3.1. Belirgin ve Belirgin Olmayan Nodül Yapısı

Baklagillerde morfolojik olarak belirgin ve belirgin olmayan iki esas nodül tipi bulunmaktadır. Nodül tipi konakçı bitki tarafından belirlenmektedir. Bu iki nodül tipi arasındaki fark içindeki ilk hücre bölünmesinin gerçekleştiği alandır [22]. Belirgin olmayan nodülde ilk hücre bölünmesi olayı iç korteks tabakasında antiklinal şekilde gerçekleşerek, endodermis ve perisikldaki periklinal bölünmeler takip etmektedir (Şekil 1, basamak 4-5). Toplu olarak bu bölünmeler nodül primordiyumunun oluşumuna neden olmaktadır. Belirgin olmayan nodüller silindirik yapıdaki nodüllerin oluşumuna sebep olan daha dayanıklı bir meristeme sahiptir. Bu nodül tipine *Medicago truncatula*, *Pisum sativum*, *Trifolium repens*, *Medicago sativa* gibi bitki türleri örnek verebilir [23]. Apikal meristem devamlı olarak yeni hücre üretmektedir ve bu hücrelerde bakteri ile enfekte olmaktadır. Belirgin olmayan nodüller olgunlaşmış formunda, hücre bölünme aktivitesinden dolayı azot fikse eden bakterioidler heterojen bir populasyona sahiptir ve nodül uzamaya devam ederken gelişimsel evrede bir gradient oluşur. Bu nodüller belirgin nodüllerden farklı daha az dallanmış vaskular sisteme sahiptir [1]. Diğer bir deyişle belirgin nodüller (Şekil 1), genellikle küresel, dayanıklı meristem dokusundan yoksun ve gelişimsel bir gradient gözlenmeyen yapıdadır [24].

Belirgin nodülde ilk hücre bölünmesi genellikle subepidermal olarak dış korteks tabakasında meydana gelmektedir. Bazı istisnalarda, *Lotus japonicus* nodül dokusunda olduğu gibi ilk bölünme subepidermal dokuda gerçekleşmez [25]. Belirgin nodüller olgun

formunda, azot fikse eden bakterioide populasyonunu homojen bir şekilde içermektedir. Enfekte olan hücrelerin farklılaşması eş zamanlı olarak meydana gelir ve bu olayı nodül senesense takip etmektedir. Yaşlı nodüller senesense uğradığında yeni nodüller kökün en son gelişen kısımlarında oluşmaktadır [22]. Belirgin nodüller aynı zamanda gaz alışverişinde rol oynayan lentisel formunu da oluşturmaktadır. Belirgin nodül yapısı oluşturan Baklagiller arasında soya fasulyesi (*Glycine max*), pongamia (*Pongamia pinnata*) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris*) gibi baskın tropikal ve subtropikal türlerde bulunmaktadır [23].



Şekil 1. Belirgin ve belirgin olmayan nodül yapısının gelişim evreleri [1].

3.2. Bakteri ve Konakçı Hücre Arasındaki Sinyal Değişimi

3.2.1. Kök Tüyüne Bakterinin Tutunması

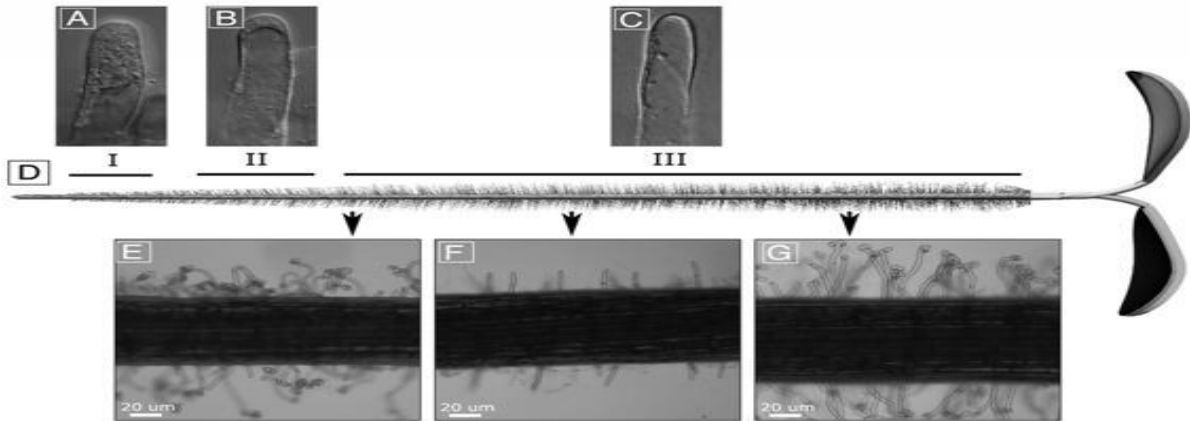
Bakteri ve konakçı bitki arasındaki ilişkide, ilk basamak rhizobial bakterinin kök epidermisine

tutunmasıdır. *Rhizobium*'un bu özel yeteneği diğer bakterilere göre iki önemli avantaj kazandırmaktadır: Bu durum rizosferdeki *Rhizobium* sayısını ve etkisiz olan özel türlerin arttırılmasını sağlayabilmektedir [14,26,27]. *Rhizobium leguminosarum* bakterisinin bitki kök tüyüne bağlanması iki aşamalı bir süreçtir. İlk aşama, bakteri yüzeyi üzerinde rhicadesin denilen bir protein aracılığı ile bitki reseptörüne zayıf bir şekilde bağlanır. Rhicadesin, Rhizobiaceae familyasında yaygın olarak görülen Ca^{+2} -bağımlı bir proteindir [28]. Bu protein *Rhizobium leguminosarum* bakterisinden izole edilmiştir [29]. İkinci aşama selüloz fibriller aracılığıyla olur ve daha kuvvetli bir adhezyon ile gerçekleşir [28,29]. Ayrıca lipo-oligosakkaritleri bağlayan bir diğer reseptör moleküllerinin büyüyen kök tüylerinin üzerinde büyüme ucu yakınlarında yerleştikleri tahmin edilmektedir. Kimyasal yapısı tam olarak bilinmemekle birlikte bir lektin olabileceği ileri sürülmektedir. Bitki lektinleri özel polisakkaritlerine bağlanarak rhizobial tutunmayı arttırmaktadır [30, 31].

3.2.2. Kök Tüyünün Bozulması ve Kıvrılması

M. truncatula'da kök tüyü gelişim süreci, epidermal hücre nükleusu iç çeper merkezinden karşısındaki kök tüyü primordiyumunun gelişmeye başladığı yer olan dış çeper pozisyonuna doğru göç etmesi ile başlamaktadır [32]. Bu çıkıntı (şişkinlik) başlangıçta sitoplazma ile dolu olup kök yüzeyinden dışarı doğru büyümektedir [15]. Büyüyen kök tüyünün uç kısmında sitoplazma kitlesi, alt kısmında geniş bir vakuol ve kök tüyünün plazma membranı ile vakuol membranı arasında da ince bir sitoplazmik kısım bulunmaktadır [15]. Büyüme devam ederken, epidermis hücre nükleusu iç periklinal çeper üzerindeki pozisyonunu değiştirip kök tüyüne giriş yapar ve uç kısımdan yaklaşık 30 μ m uzaklıktaki sitoplazmanın yoğun olduğu bir bölgede yeni pozisyonunu alır. Bu pozisyon kök tüyünde alan I olarak bilinmektedir (Şekil 2). Alan I, kök yüzeyinden uzaklaştıkça ya da büyümeye devam ettikçe nükleus uç kısımda bu mesafede kalmaya devam eder. Kök tüyü olgun uzunluğuna yaklaştıkça, vakuol uç kısmın arkasındaki sitoplazmanın yoğun

olduğu alana girmektedir (Şekil 2) ve nükleus uç kısmı takip etmeye son verir. Bu yapı da kök tüyünde alan II olarak tarif edilmektedir [32]. Büyümesini tamamlamış hücrelerde vakuol kök tüyünün uç kısmının yakınlarındadır (Şekil 2) ve nükleus hücrenin herhangi bir yerinde bulunabilmektedir. Bu belirtilen alanda kök tüyünde alan III olarak ifade edilmektedir [32]. Konak bitkinin kök tüylerinde uyumlu rhizobial türlerden saflaştırılmış nod faktörlerin etkisi ile deformasyon olduğu bilinmektedir. Bu olay *Alfalfa*, *M. truncatula* ve bezelyeyi de kapsayan pek çok bitki türünde detaylı bir şekilde çalışılmıştır [15]. Nod faktöre en duyarlı kök tüyleri, büyümenin sonlanmaya yakın yerleri olan alan II de bulunur, kök tüyü alan III bölgesinde ise büyüme tamamen durmuştur. Kuvvetli şekilde polimerize olmuş içsel organizasyona sahip kök tüylerinin aktif bir şekilde büyümeye devam ettiği bölge kök tüyü alan I bölgesidir ve bu bölge nod faktörün deforme edici etkisine duyarlıdır. Alan II kök tüylerinde nod faktör ile tetiklenmiş deformasyonu kök tüyü uçlarının izodiametrik şekilde şişkinleşmesi ile başlar ve bu olayı oldukça polar yapıda, alan I kök tüyülerinin aktif olarak büyüyen uçlarına benzer yapıda yeni bir büyüyen ucun tesisi takip etmektedir [15]. Böylece NF alan II hücrelerinde yeni uç büyümesini teşvik etmektedir. NF uygulamasını ardışık vezikül depozisyonunun geçici olarak izodiametrik şekle dönüşmesi halen tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. İzodiametrik depozisyon hücre iskeletinin bozulmasından kaynaklanabilir. Dış ortama NF ilave edildiğinde, NF kök tüyünde deformasyona ve dallanmaya neden olmaktadır ancak sıkıca kıvrılmış kök tüyü (shepherd's crooks) yapısının oluşması için yeterli olmamaktadır ve bu yapı genellikle bakterinin bitkiye girdiği alanı oluşturmaktadır [15]. Kök tüyü kıvrılması ve enfeksiyon sürecinde mikrotübül organizasyonunda değişiklik meydana gelmektedir. Kıvrılma sırasında, mikrotübüller kıvrılma alanının merkezine yerleşmektedir ve bunun sonucunda kök tüyünün uç kısmı ile bağlantısı kesilerek, nükleus ve enfeksiyon ipliğinin uç kısmı arasında konumlanmaktadır [33].



Şekil 2. Enfekte olmuş ve olmamış kök dokusunun morfolojik yapısı (A-C). Enfekte olmamış yonca bitkisinin tipik I, II, III kök alanları (D). *S. meliloti* ile enfekte olan yonca bitkisinin kök tüyü görüntüsü (E-G) [15].

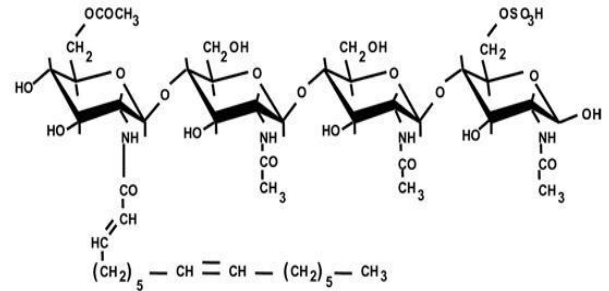
3.2.3. Nod Faktör Yaklaşımı

Konakçı bitki kökleri tarafından salınan flavonoidler rhizobial hücrelerde *nod* genlerinin teşvik edilmesinde rol oynamaktadır [34]. Flavonoidler bakteriyal NodD transkripsiyon düzenleyicilerini aktive ederek *nod* faktör sentezini içeren genlerin transkripsiyonunu teşvik etmektedir [35]. *Nod* faktörün temel yapısı farklı rhizobial türlerde benzer yapıda olmaktadır. Genellikle, NF β -1,4-bağlı N-asetil-D-glukozaminin 4-5 biriminden oluşan iskelet yapısına sahiptir ve redüklenmemiş terminal uç C2 pozisyonunda açıl zincir içermektedir [31]. Rhizobial türlerde NF deki özgünlük açıl zincirin yapısındaki çeşitliliğe bağlı olmaktadır. Şekil 3'de *Medicago* türleri ile nodül oluşturabilen *Sinorhizobium meliloti* bakterisine ait *nod* faktörün yapısı verilmiştir. Rhizobial türler arasında *nod* faktörün yapısındaki farklılık türe özgü nodülasyon genlerinde ya da allellik varyasyonlarından dolayı farklı aktivitede enzimlerin kodlanmasının sonucu olabilmektedir [31].

NF mekanizmasının çözümünün altında çoğunlukla genetik yaklaşım yatmaktadır. Ancak NF ile ilgili güncel model olarak, *nod* faktör bağlanmasında görev alan epidermis hücresinde yerleşmiş iki reseptör benzeri kinaz (RLK) önerilmektedir [1]. Bu kinazlarda, *L. japonicus*'da LjNFR1 ve LjNFR5, *P. sativum*'da PsSYM2A ve PsSYM10, *M. truncatula*'da MtLYK3/MtLYK4 ve MtNFP, *Glycine max* L.'de GmNFR1 α/β ve GmNFR5 α/β dir [36, 37,38, 39, 40]. NF reseptörleri; intrasellüler kinaz bölge, transmembran bölge ve LysM domainine sahip ekstrasellüler bölge içermektedir. LysM domaini N-asetilglukozamin bakiyelerini içeren NF'e benzer şekilde peptidoglikanlara bağlandığı düşünülen bakteriye özgü hücre çeperi-yıkıcı enzimde yaygın olarak mevcut kısımdır [41]. Bu yapı ökaryotlarda mevcut olmasına karşın bir genelleme yapılamamaktadır. Kinaz ve transmembran alan ile birlikte LysM bölgesinin varlığı bitkilere özgündür [42]. İlginç bir şekilde, tüm ökaryotik protein kinazlarda genellikle fosforilasyon bölgesinin yerleştiği LjNFR5/PsSYM10/MtNFP/GmNFR5 α/β aktivasyon ilmeği eksik iken LjNFR1/PsSYM2A/MtLYK3/MtLYK4/GmNFR1 α/β tipik bir serin\treonin kinaz alanı içerir [36, 37, 38, 40, 43]. Bir kinaz domaininde aktif ilmeğin yokluğunda iki LysM RLKs ın ileri yönde sinyal iletiminde fonksiyonel aktif kinaz domainine sahip bir heterodimerik reseptörde toplandığı ileri sürülmektedir [36, 37, 38, 40].

NF sinyalinde görev alan diğer bir RLK ise lösince zengin (LRR) tekrarlanan bölgelere, serin\treonin bölgelerine sahiptir ve *M. sativa* NORK, *Pisum sativum* PsSYM19, *Lotus japonicus* LjSYM19, *Medicago truncatula* MtDMI2 tarafından kodlanmaktadır [44, 45, 46]. Bu yapı plazma membranı ve enfeksiyon ipliği membranı üzerinde yerleşmiştir ve en erken saptanabilir kök tüyü cevabı için gerekli olan hem NF

algılanması hem de ileri yönde sinyal iletiminde fonksiyonel olduğu tahmin edilmektedir [36,44]. LysM RLKs ın aktive olması için ilk önce LRR RLK nin aktive olması gerekmektedir [1]. Gerçekten de, bu iki reseptör mikrobiyal sinyal molekülün algısında rol oynamaktadır, ancak LRR RLK reseptörünün fungal ve bakteriyal sinyal yolu ile nasıl bütünleştiği tam olarak açıklanamamıştır [1]. Bunun doğrudan heterokompleks oluşumlar aracılığı ile mi yoksa dolaylı ikinci sinyaller aracılığı ile mi olup olmadığı aydınlatılamamıştır. İleri yönde sinyal iletimine dayanarak, LRR RLK lar bakteri kökenli enfeksiyon olaylarının başlamasında daha fonksiyonel iken LysM RLKs lar NF sinyalindeki olaylar dizisinde spesifik bir role sahip olabilir [1].



Şekil 3. *S. meliloti* bakterisine ait *nod* faktörün kimyasal yapısı [31].

3.2.4. Nod Faktör Sinyali Basamakları

İleri yönde sinyal iletim basamakları *nod* faktörün algılanması ile başlar. Bu yapı nuklear membranda konumlanmış *M. truncatula*'ya ait MtDMI1 ve *L. japonicus*'a ait LjCASTOR and LjPOLLUX tarafından kodlanan potasyum iyon-kanal proteinleri [47,48, 49]. LjNup133 ve LjNup85 [50,51] tarafından kodlanan iki nukleoporin ve MtDMI3/PsSYM9 tarafından kodlanan kalsiyum ve kalmadulin bağlantılı protein kinaz (CCaMK) içermektedir [46, 52].

NF uygulamasından sonra 1 dk gibi kısa bir sürede, Ca⁺² iyonlarının hızlı bir şekilde hücre içine alınması Ca⁺² akışını meydana getirir ve bunu kök tüylerinde Cl⁻ ve K⁺ iyonlarının dışarı akışı takip etmektedir [53]. Kalsiyumun depolanması olarak bilinen sitosolik kalsiyum konsantrasyonundaki salınım, Ca⁺² akışının artışından sonra (NF uygulamasından yaklaşık 10 dk sonra) aynı hücrede aynı anda ardışık olarak teşvik edilmektedir [54]. İyon-kanal proteinleri ve nukleoporinler kalsiyumun depolanması olayları için gereklidir ve yapılan çalışmalarda CCaMK Ca⁺² depolanma sinyalinde rol oynadığı belirlenmiştir [55]. Benzer şekilde yükselip alçalma ve depolama olayları NF bağlandıktan sonraki sinyal iletiminde daha önce gözlenmiştir ve işaret edilen benzer etkiler NF algısından sonra meydana gelmektedir [56,57]. NF algısı, kök tüyü deformasyonuna, kök tüyü kıvrılması ve bakteri istilası için gerekli olan kök tüyü aktin iskeletinde değişikliğe neden olmaktadır [14].

LRR RLK kodlayan genlerdeki mutasyon, varsayılan (putativ) iyon kanalları ya da nukleoporinler Ca⁺²

depolanması ve devam eden nodül gelişim olaylarını engellemektedirler, buna karşın kalsiyum akışı ve kök tüyü deformasyonu olayları devam etmektedir [47, 48]. CcCaMK da mutasyonu Ca^{+2} akışını ve birikimini etkilememiştir fakat yinede devam eden nodül gelişimi engellenmiştir [52]. NF LRR RLK, iyon kanalları ve nukleoporinlerin NF algısının akış yönünde ilerlemesini, Ca^{+2} depolanmasını ise aksi yönde etkilemektedir. Oysa ki CcCaMK Ca^{+2} birikimini akış yönünde etkilemektedir [1].

Birçok transkripsiyon faktörü nodülasyon sinyal yolu 1 (NSY1) ve NSY2, nodülasyon için gerekli olan Ets2 repressör faktör (ERF) (ERN) ve nodül başlangıcını (NIN) içeren CcCaMK sinyalinin ileri yönde akışını aktive etmektedir [58]. *nsy1* ve *nsy2* mutantları epidermiste erken nodülasyon genlerinin (ENOD) transkripsiyonunu başlatma yeteneğinde değilken, NF ile muamele edildiği zaman normal Ca^{+2} cevabı sergilemektedir [59]. Epidermis hücrelerinde NSY1 ve NSY2 nin nukleusta CcCaMK ile beraber yerleştiği düşünülmektedir [14]. *NSY1* ve *NSY2* Ca^{+2} birikiminden sonra benzer şekilde aktive olmaktadır, muhtemelen CcCaMK sinyali ile doğrudan etkilenmektedir. Bunlara ek olarak ERN1 ve NSY1 nin ENOD11 in promotörüne bağlandığı gösterilmiştir. NSP1 in ENOD promotörüne bağlanması NSP2 ye gereksinim duyarken epidermis hücrelerinde ENOD ekspresyonu oldukça iyi karakterize edilmiştir [60, 61]. Hirsch ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada ENOD11 promotörüne bağlanabilmesi için, NSP1 in ERN1 promotörüne bağlanması ve NIN in de bunların ekspresyonu için gerekli olduğunu göstermişlerdir. Epidermis hücrelerinde NSY1, NSY2, ERN1 ve NIN bütün kombinasyonları ENODs ekspresyonlarını düzenlenmektedir [61]. Genetik ve protein düzeyinde yapılan çalışmalarda protein bileşenlerinin CcCaMK ile etkileşim halinde olduğunu göstermiştir. Bu ilişki NF sinyali ve nodül gelişiminde gereklidir ve bu proteinler *M. truncatula*'da DMI3 (MtIPD3) ve *L.japonicus* da LjCYCLOPS olarak isimlendirilir [62,63]. Bu proteinlerin C terminal bölgesi ile etkileşim halinde oldukları, kalsiyum birikimi sinyalinde etkili oldukları ve NSY1 ekspresyonunu düzenledikleri düşünülmektedir [58].

3.2.5. Nod Faktör Tarafından Korteks Hücrelerinin Teşvik Edilmesi

Rhizobium-baklagil arasındaki simbiyotik ilişkide, rhizobial hücreler konakçı dokuda kolonize olarak kök korteksinde hücre döngüsünü yeniden aktif hale getirmektedir. NF'nin kök tüyü ve epidermis hücre çeperine doğrudan etkisine ek olarak, korteks ve perisikl dokularında da hücre döngüsünü aktive ettiği gözlenmektedir. Korteks ve perisikl hücrelerinin aktivasyonu farklı baklagil türlerinde varyasyon göstermektedir [31]. Bu olay da kök korteksindeki morfojenetik yapıya bağlıdır [64]. *Medicago sativa*'da *Rhizobium* ile inokülasyonundan 18-24 saat sonra, iç korteks hücrelerinde erken morfolojik aktivasyon

gözlenmektedir [65,66]. Bu vakuollü hücreler ilk önce antiklinal bölünme geçirmektedirler. Daha sonra, periklinal bölünmeler meydana gelerek, primordiyum oluşmaktadır. Tüm baklagillerde karakteristik olarak belirgin olmayan apikal meristem ile beraber silindirik nodüller gelişmektedir [31]. Bunlara zıt olarak, *Phaseolus vulgaris* ve *Glycine max* 'te ilk bölünen hücre hipodermiste bulunmaktadır [21, 67].

3.3. Enfeksiyon İpliği (Eİ) Gelişimi

Tüm rhizobial-konakçı arasındaki simbiyosis olaylarında, azot fiksasyonunun başlamasından önce bakteri bitki hücresinin kök korteks tabakasına yerleşmelidir. Bakteri bitki dokularının derinliklerine enfeksiyon ipliği üreterek nüfuz etmektedir. Bu yapıyı oluşturmak için, bakterinin kıvrılmış kök ucunda lokalize olması gerekmektedir [68]. Kök ucunda lokalize olan bakteri simbiyotik olarak aktif ekso polisakarit ve nod faktörü üreterek, kök tüyü hücre membranından içeriye doğru ilerleyen büyümeyi teşvik etmektedir [35]. Bunun sonucunda da içindeki bitki dokularına bakteri akımı gerçekleşmektedir [15]. Uç bölgesinden gelişen enfeksiyon ipliği yeni bir membran sentez alanı oluşturmaktadır ve bu yapının uç büyümesinin değişikliği sonucu meydana geldiği düşünülmekle beraber hücre polaritenin yeniden organizasyonu sonucu ve kök tüyü tarafından normal olarak ortaya konulan bir durum olmaktadır [15]. Enfeksiyon ipliğinin kök tüyünün içine doğru büyümesi sürecinde, nukleus ve uzayan enfeksiyon ipliğinin uç kısmı yoğun ve aktif olarak akan sitoplazma aracılığı ile bağlantı halindedir [15]. Aynı zamanda, konakçı hücrenin hücre iskeleti Eİ nin büyüme düzenini belirleyen önemli bir faktör olmaktadır [65]. Floresans ile işaretlenmiş bakteri enfeksiyon ipliği içinde mikroskopik olarak analiz edildiğinde, içe doğru bölünen enfeksiyon ipliğinin uç bölgesinde bakterinin aktif olarak bölündüğü gözlenmiştir [69]. Uç bölgesinde bakteriyel çoğalma sonucunda enfeksiyon ipliğinin membran sentezi teşvik edilmektedir [68].

Enfeksiyon ipliği oluşumunun başlaması için nod faktör sinyalinin salınımı gereklidir [1]. Ayrıca, kök tüyüne yapışan ve mikrokoloni oluşturan *Rhizobium* hücreleri yüksek konsantrasyonda NF üretmektedir. Muhtemelen üretilen NF belli bir konsantrasyona ulaştığında enfeksiyon ipliği oluşumu başlamaktadır [31]. Yapısal olarak yetersiz NF üreten *Rhizobium* türlerinde kök tüyü deformasyonu teşvik edilebilmektedir, ancak enfeksiyon ipliği oluşturamayan çok sayıda geniş enfeksiyon cepleri meydana gelmektedir [69]. Bakteriyel ekstrasellular polisakaritlerde (suksinoglikan) Eİ oluşumunun başlamasında ve ilerlemesinde önemli bir rol üstlenmektedir [70,71]. *exoY* mutantlarında (suksinoglikan üretemeyen) Eİ oluşumu başlayamamaktadır ve bunun sonucunda enfekte olmamış boş nodül dokusu gelişmektedir [31].

Belirgin olmayan nodül dokusunun oluşması sırasında, kök dokusunun iç korteks hücreleri yeniden hücre döngüsüne girip antiklinal bölünerek NF e yanıt vermektedir [15]. Böylece nodül primordiyumu oluşmaktadır. Hücre döngüsü aktivasyon sürecinin bir parçası olarak, nükleus çeper bölgesinden merkezi pozisyona göç etmektedir. Bu olay dış korteks hücrelerinde de aynı şekilde meydana gelmektedir ancak hücre döngüsünün G2 fazında kalmaktadır [72]. Bu bölgedeki hücreler radyal olarak dizilmiş hücrelerarası sitoplazmik köprüler ile beraber bir kolon oluşturmaktadır ve bu yapıya enfeksiyon öncesi ipliği adı verilmektedir.

3.4. Simbiyosom

Bakterinin hedef dokusu olan bitkinin iç korteks hücrelerine ulaşmasıyla, hücre içerisinde yeni bir yapılanma oluşmaktadır. Herbir bakteri hedef hücre tarafından tek tek endositoz yolu ile enfeksiyon ipliğinden kökenlenen membrana sarılarak hücre içine alınmaktadır [31]. Bitki kökenli bu membrana peribakterioid membran adı verilmektedir. Herbir bakteriyi içeren endositik membran ile çevrili bu yapı simbiyosom olarak bilinmektedir [68]. Belirgin olmayan nodülde, bakteri hücreleri ve onu çevreleyen peribakterioid membran eş zamanlı olarak azot fikse eden bakterioide dönüşmeden önce bölünmektedir [73]. Simbiyosom azot fiksasyonunda bir birlik oluşturmaktadır çünkü membran yapısı besin taşınımı ve amonyumun salgılanması gibi olaylarda konakçı hücre ile ilişki halinde bulunmaktadır. *Rhizobium* simbiyosom içerisinde değişmekte ve yeni enzim sistemleri için teşvik olmaktadır [74]. Belirgin olmayan nodül yapısında, ön enfeksiyon alanı, enfeksiyon alanı, fiksasyon alanı ve senesens alanı olmak üzere dört bölüm bulunmaktadır. Diğer nodül tipi olan belirgin yapıda ise sadece merkezi enfeksiyon alanı bulunmaktadır [74]. Her iki nodül tipinde de düşük oksijen seviyesi mevcuttur. Dış korteks hücreleri oksijen sızmasına karşı fiziksel bir bariyer oluşturmaktadır. Ayrıca nodül dokusunda özel olarak oluşturulan leghemoglobin var olan oksijene bağlanmaktadır. Nodül yapısında düşük oksijen miktarı gereklidir çünkü oksijen varlığında nitrogenaz enzimi hızla denature olmaktadır [74].

Medicago bitkisinde *S. meliloti* ile erken enfeksiyon sürecinde Eİ ağında yüksek oranda polarize bir durum bulunmaktadır. Kök tüyünde başlayan iplik yapısı gelişen nodül primordiyumuna doğru dallanarak büyümektedir. Enfeksiyon ipliğinin geçtiği hücrelerde sitoplazma polar yapı kazanmaktadır. Nodül primordiyumunda enfekte olmamış ve aktif hücreler nodülün iç korteks hücrelerinde organize olmaktadır. Nodül büyümesinde, meristem arkasında Eİ ağı gelişime devam etmektedir ve nodül dokusunda oldukça dallanmış yapıda enfeksiyon alanı oluşmaktadır [31]. *Medicago* gibi belirgin olmayan nodül yapısında, meristem dokusu devamlı olarak kök dışına doğru büyümektedir. Meristem dışı doğru

hareket ederken, Eİ meristem dokusunun arkasına doğru büyümek zorundadır. Böylece yeni bölünen ve genişleyen hücreler enfekte olmaktadır [31]. Eİ nin nodül içerisinde nasıl yayıldığı tam olarak bilinmemektedir. Enfeksiyon alanındaki Eİ ağı polar yapıda olup dışı doğru ilerleyen meristem boyunca genişlemektedir.

IV. SONUÇ

Baklagil familyasına ait türlerin, bitkisel protein kaynağı olma özelliği tarımsal ürünler için de önemini ilk sıralara taşımaktadır. Baklagiller, rizobiyal bakteriler ile simbiyotik ilişki kurması sonucu oluşan nodül dokusu, atmosferik azotu kullanılabilir organik forma bağlama yetenekleri nedeniyle tarımsal sürdürülebilirlik ve küresel azot döngüsünde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, birçok baklagil türü nodüler azot fiksasyon mekanizmasının moleküler düzeyde aydınlatılması için model bitki olarak çalışılmaktadır. Aynı zamanda, nodül mekanizması hakkında bilginin çoğalması, biyoteknolojik yaklaşımlar kullanılarak daha verimli bitkisel üretimin sağlanmasında kaynak oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] He, J., Lindström, H., Hagfeldt, A., & Lindquist, S.E., (1999). Dye-Sensitized Nanostructured p-Type Nickel Oxide Film as a Photocathode for a Solar Cell. *Journal of Physics and Chemistry B*, 103(42), 8940-8943.
- [2] Ferguson, B.J., Indrasumunar, A., Hayashi, S., Lin, M-H, Lin, Y-H, Reid D.E., & Gresshoff, P.M. (2010). Molecular Analysis of Legume Nodule Development and Autoregulation, *J. Integr. Plant Biol.*, 52 (1), 61–76.
- [3] Yavaş İ., & Ünay A. (2018). Baklagillerde Kök, Nodül Oluşumu ve Azot Fiksasyonu Üzerine Bazı Küresel İklim Değişikliği Parametrelerinin Etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 4(2): 270 – 278.
- [4] Sarioğlu, G., & Velioglu Y.S. (2018). Baklagillerin Bileşimi. *Akademik Gıda*, 16(4), 483-496.
- [5] European Association for Grain Legume Research , 2007, www.grainlegumes.com. Accessed January 2009.
- [6] Gül, M., & Işık, H. (2002). Dünyada ve Türkiye’de Baklagil Üretim ve Dış Ticaretindeki Gelişmeler. *MKU Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(1-2): 59-72.
- [7] Kızıloğlu, F.T. (1997). Toprak Organizmalarının Azot Formları Arasındaki Dönüşümlere ve Çevreye Etkileri. *Çevre Koruma*, 30:27-30.
- [8] Müftüoğlu N.M., & Demirel T. (1998). Toprakta Azot Bilançosu. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 29 (1), 175-185.

- [9] Pueppke, S.G., & Broughton, W.J. (1999). *Rhizobium* sp. strain NGR234 and *R. fredii* USDA257 share exceptionally broad, nested host ranges. *Mol. Plant-Microbe Interact.*, 12, 293–318.
- [10] Caetano-Anollés, G., & Gresshoff, P.M. (1991). Plant genetic control of nodulation. *Annu. Rev. Microbiol.*, 45, 345–382.
- [11] Geurts R., & Bisseling T. (2002). Rhizobium Nod Factor Perception and Signalling. *Plant Cell*, 14, 239–249.
- [12] Lerouge, P., Roche, P., Faucher, C., Maillet, F., Truchet, G., Prom'E, J.C., & D'enari'e, J. (1990). Symbiotic host-specificity of *Rhizobium meliloti* is determined by a sulphated and acylated glucosamine oligosaccharide signal. *Nature*, 344, 781–784.
- [13] D'enari'e, J., Debelle, F., & Prom'e J.C. (1996). Rhizobium lipochitooligosaccharide nodulation factors: Signalling molecules mediating recognition and morphogenesis. *Annu. Rev. Biochem.*, 65, 503–535.
- [14] Oldroyd, G.E.D., & Downie, J.A. (2008). Coordinating nodule morphogenesis with rhizobial infection in legumes. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 519–546.
- [15] Gage, D.J. (2004). Infection and Invasion of Roots by Symbiotic, Nitrogen-Fixing Rhizobia during Nodulation of Temperate Legumes. *Microbiol Mol Biol Rev.*, 68(2), 280–300.
- [16] Turgeon, B.G., & Bauer, W.D. (1985). Ultrastructure of infection thread development during infection of soybean by *Rhizobium japonicum*. *Planta*, 163, 328–349.
- [17] Lohar, D., Stiller, J., Kam, J., Stacey, G., & Gresshoff, P.M. (2009) Ethylene insensitivity conferred by a mutated *Arabidopsis* ethylene receptor gene alters nodulation in transgenic *Lotus japonicus*. *Ann. Bot.*, 104, 277–285.
- [18] Udvardi, M., & Day, D. (1997). Metabolite transport across symbiotic membranes of legume nodules. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 48, 493–523.
- [19] Roth, L.E., & Stacey, G. (1989). Cytoplasmic membrane systems involved in bacterium release into soybean nodule cells as studied with two *Bradyrhizobium japonicum* mutant strains. *Eur. J. Cell Biol.*, 49, 24–32.
- [20] Newcomb, W., Sippel, D., & Peterson, R.L. (1979). The early morphogenesis of *Glycine max* and *Pisum sativum* root nodules. *Can. J. Bot.* 57, 2603–2616.
- [21] Calvert, H.E., Pence, M.K., Pierce, M., Malik, N.S.A., & Bauer, W.D. (1984). Anatomical analysis of the development and distribution of Rhizobium infection in soybean roots. *Can. J. Bot.* 62, 2375–2384.
- [22] Rolfe, B.G., & Gresshoff, P.M. (1988) Genetic analysis of legume nodule initiation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 39, 297–319.
- [23] Guinel, F. C. (2009). Getting around the legume nodule: I. The structure of the peripheral zone in four nodule types. *Botany* 87, 1117–1138.
- [24] Hirsch, A.M. (1992). Developmental biology of legume nodulation. *New Phytol.* 122, 211–237.
- [25] Wopereis, J., Pajuelo, E., Dazzo, F.B., Jiang, Q., Gresshoff, P.M., De Bruijn, F.J., Stougaard, J., & Szczyglowski, K. (2000). Shoot root mutant of *Lotus japonicus* with a dramatically altered symbiotic phenotype. *Plant J*, 23, 97–114.
- [26] Fujishige, N.A., Kapadia, N.N., De Hoff Pl, & Hirsch, A.M. (2006). Investigations of Rhizobium biofilm formation. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 56, 195–206.
- [27] Sanchez-Contreras, M., Bauer, W.D., Gao, M., Robinson, J.B., & Downie, J.A. (2007). Quorum sensing regulation in rhizobia and its role in symbiotic interactions with legumes. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 362:1149–63.
- [28] Smit, G., Kijne, J.W., & Lugtenberg, B.J.J. (1987). Involvement of both cellulose fibrils and a Ca²⁺-dependent adhesin in the attachment of *Rhizobium leguminosarum* to pea root hair tips. *J. Bacteriol.*, 169, 4294–4301.
- [29] Smit, G., Kijne, J.W., & Lugtenberg, B.J.J. (1986). Correlation between extracellular fibrils and attachment of *Rhizobium leguminosarum* to pea root hair tips. *J. Bacteriol.*, 168, 821–827.
- [30] Diaz, C.L., Spaink, H.P., Wijffelman, C.A., & Kijne, J.W. (1995). Genomic requirements of Rhizobium for nodulation of white clover hairy roots transformed with the pea lectin gene. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 8, 348–56.
- [31] Brewin, N.J. (2004). Plant Cell Wall Remodelling in the Rhizobium–Legume Symbiosis. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 23(4), 293–316.
- [32] Sieberer, B., & Emons, A. M. C. (2000). Cytoarchitecture and pattern of cytoplasmic streaming in root hairs of *Medicago truncatula* during development and deformation by nodulation factors. *Protoplasma* 214, 118–127.
- [33] Timmers, A. C., Auriac, M.C., de Billy, F., & Truchet, G. (1998). Nod factor internalization and microtubular cytoskeleton changes occur concomitantly during nodule differentiation in alfalfa. *Development*, 125, 339–349.
- [34] Shimada, N., Aoki, T., Sato, S., Nakamura, Y., Tabata, S., & Ayabe, S. (2003). A cluster of genes encodes the two types of chalcone isomerase involved in the biosynthesis of general flavonoids and legume-specific 5-deoxy(iso)flavonoids in *Lotus japonicus*. *Plant Physiol.*, 131, 941–951.
- [35] Geurts R., Fedorova, E., & Bisseling, T. (2005). Nod factor signaling genes and their function in the early stages of Rhizobium infection. *Current Opinion in Plant Biology*, 8:346–352.
- [36] Limpens, E., Franken, C., Smit, P., Willemse, J., Bisseling, T., & Geurts, R. (2003). LysM domain receptor kinases regulating rhizobial nod factor-induced infection. *Science* 302, 630–633.

- [37] Madsen, E.B., Madsen, L.H., Radutoiu, S., Olbryt, M., Rakwalska, M., Szczyglowski, K., Sato, S., Kaneko, T., Tabata, S., Sandal, N., & Stougaard, J. (2003). A receptor kinase gene of the LysM type is involved in legume perception of rhizobial signals. *Nature* 425, 637–640.
- [38] Radutoiu, S., Madsen, L.H., Madsen, E.B., Felle, H.H., Umehara, Y., Grønlund, M., Sato, S., Nakamura, Y., Tabata, S., Sandal, N., & Stougaard, J. (2003). Plant recognition of symbiotic bacteria requires two LysM receptor-like kinases. *Nature* 425, 585–592.
- [39] Arrighi, J.F., Barre, A., Ben Amor, B., Bersoult, A., Soriano, L.C., Mirabella, R., De Carvalho-Niebel, F., Journet, E.P., Gh'Erardi, M., Huguet, T., Geurts, R., D'Enari'E, J., Roug'E, P., & Gough, C. (2006). The *Medicago truncatula* Lysine motif-receptor-like kinase gene family includes NFP and new nodule-expressed genes. *Plant Physiol.* 142, 265.
- [40] Indrasumunar, A., Kereszt, A., Searle, I., Miyagi, M., Li, D., Nguyen, C.D.T., Men, A., Carroll, B.J., & Gresshof, P.M. (2009). Inactivation of duplicated Nod-Factor Receptor 5 (NFR5) genes in recessive loss-of-function non-nodulation mutants of allotetraploid soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Plant Cell Physiol.*, 51(2), 201-214.
- [41] Steen, A., Buist, G., Leenhouts, K.J., El Khattabi, M., Grijpstra, F., Zomer, A.L., Venema, G., Kuipers, O.P., & Kok, J. (2003). Cell wall attachment of a widely distributed peptidoglycan binding domain is hindered by cell wall constituents. *J. Biol. Chem.* 278, 23874–23881.
- [42] Gough, C. (2003). *Rhizobium* symbiosis: Insight into nod factor receptors. *Curr. Biol.* 13, 973-975.
- [43] Huse, M., & Kuriyan, J. (2002). The conformational plasticity of protein kinases. *Cell.*, 109, 275–282.
- [44] Endre, G., Kereszt, A., Kevei, Z., Mihacea, S., Kalo, P., & Kiss, G.B. (2002). A receptor kinase gene regulating symbiotic nodule development. *Nature* 417, 962–966.
- [45] Stracke, S., Kistner, C., Yoshida, S., Mulder, L., Sato, S., Kaneko, T., Tabata, S., Sandal, N., Stougaard, J., Szczyglowski, K., & Parniske, M. (2002). A plant receptor-like kinase required for both fungal and bacterial symbiosis. *Nature* 417, 959–962.
- [46] Mitra, R.M., Gleason, C.A., Edwards, A., Hadfield, J., Downie, J.A., Oldroyd, G.E., & Long, S.R. (2004). A Ca²⁺/calmodulin-dependent protein kinase required for symbiotic nodule development: Gene identification by transcript-based cloning. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101, 4701–4705.
- [47] An'e, J.M., Kiss, G.B., Riely, B.K., Penmetza, R.V., Oldroyd, G.E., Ajax, C., L'Evy, J., Debell'e, F., Baek, J.M., Kalo, P., Rosenberg, C., Roe, B.A., Long, S.R., D'Enari'E, J., & Cook, D.R. (2004). *Medicago truncatula* DMI1 required for bacterial and fungal symbioses in legumes. *Science* 303, 1364–1367.
- [48] Imaizumi-Anraku, H., Takeda, N., Kawaguchi, M., Parniske, M., Hayashi, M., & Kawasaki, S. (2005). Host genes involved in activation and perception of calcium spiking. *Plant Cell Physiol.* 46, S5-S5.
- [49] Riely, B.K., Lougnon, G., Ane, J.M., & Cook, D.R. (2007). The symbiotic ion channel homolog DMI1 is localized in the nuclear membrane of *Medicago truncatula* roots. *Plant J.* 49, 208–216.
- [50] Kanamori, N., Madsen, L.H., Radutoiu, S., Frantescu, M., Quistgaard, E.M., Miwa, H., Downie, J.A., James, E.K., Felle, H.H., Haaning, L.L., Jensen, T.H., Sato, S., Nakamura, Y., Tabata, S., Sandal, N., & Stougaard, J. (2006). A nucleoporin is required for induction of Ca²⁺ spiking in legume nodule development and essential for rhizobial and fungal symbiosis. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 103, 359–364.
- [51] Saito, K., Yoshikawa, M., Yano, K., Miwa, H., Uchida, H., Asamizu, E., Sato, S., Tabata, S., Imaizumi-Anraku, H., Umehara, Y., Kouchi, H., Murooka, Y., Szczyglowski, K., Downie, J.A., Parniske, M., Hayashi, M., & Kawaguchi, M. (2007). NUCLEOPORIN85 is required for calcium spiking, fungal and bacterial symbioses, and seed production in *Lotus japonicus*. *Plant Cell*, 19, 610–624.
- [52] L'evy, J., Bres, C., Geurts, R., Chalhoub, B., Kulikova, O., Duc, G., Journet, E.P., An'e, J.M., Lauber, E., Bisseling, T., D'Enari'E, J., Rosenberg, C., & Debell'e, F. (2004). A putative Ca²⁺ and calmodulin-dependent protein kinase required for bacterial and fungal symbioses. *Science* 303, 1361–1364.
- [53] Felle, H.H., Kondorosi, E., Kondorosi, A., & Schultze, M. (1999). Elevation of the cytosolic free [Ca²⁺] is indispensable for the transduction of the nod factor signal in alfalfa. *Plant Physiol.* 121, 273–279.
- [54] Wais, R.J., Galera, C., Oldroyd, G., Catoira, R., Penmetza, R.V., Cook, D., Gough, C., Denari'E, J., & Long, S.R. (2000). Genetic analysis of calcium spiking responses in nodulation mutants of *Medicago truncatula*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 97, 13407–13412.
- [55] Oldroyd, G.E.D., & Downie, J.A. (2004). Calcium, kinases and nodulation signalling in legumes. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 5, 566–576.
- [56] Li, W.H., Llopis, J., Whitney, M., Zlokarnik, G., & Tsien, R.Y. (1998). Cell permeant caged InsP3 ester shows that Ca²⁺ spike frequency can optimize gene expression. *Nature* 392, 936–941.
- [57] Allen, G.J., Chu, S.P., Harrington, C.L., Schumacher, K., Hoffmann, T., Tang, Y.Y., Grill, E., & Schroeder, J.I. (2001). A defined range of guard cell calcium oscillation parameters encodes stomatal movements. *Nature* 411, 1053–1057.

- [58] Smit, P., Raedts, J., Portyanko, V., Debell'E, F., Gough, C., Bisseling, T., & Geurts, R. (2005). NSP1 of the GRAS protein family is essential for rhizobial Nod factor-induced transcription. *Science*, 308, 1789–1791.
- [59] Oldroyd, G.E.D., & Long, S.R. (2003). Identification and characterization of nodulation-signaling pathway 2, a gene of *Medicago truncatula* involved in Nod factor signaling. *Plant Physiol.*, 131, 1027–1032.
- [60] Andrianakaja, A., Boisson-Dernier, A., Frances, L., Sauviac, L., Jauneau, A., Barker, D.G., & De Carvalho-Niebel, F. (2007). AP2-ERF transcription factors mediate nod factor-dependent MtENOD11 activation in root hairs via a novel cis-regulatory motif. *Plant Cell* 19, 2866–2885.
- [61] Hirsch, S., Kim, J., Munoz, A., Heckmann, A.B., Downie, J.A., & Oldroyd, G.E.D. (2009). GRAS proteins form a DNA binding complex to induce gene expression during nodulation signaling in *Medicago truncatula*. *Plant Cell*, 21, 545–557.
- [62] Messinese, E., Mun, J.H., Yeun, L.H., Jayaraman, D., Roug'E, P., Barre, A., Loughon, G., Schornack, S., Bono, J.J., Cook, D.R., & An'e, J.M. (2007). A novel nuclear protein interacts with the symbiotic DMI3 calcium and calmodulin-dependent protein kinase of *Medicago truncatula*. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 20, 912–921.
- [63] Yano, K., Yoshida, S., Muller, J., Singh, S., Banba, M., Vickers, K., Markmann, K., White, C., Schuller, B., Sato, S., Asamizu, E., Tabata, S., Murooka, Y., Perry, J., Wang, T.L., Kawaguchi, M., Imaizumi- Anraku, H., Hayashi, M., & Parniske, M. (2008). CYCLOPS, a mediator of symbiotic intracellular accommodation, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 105, 20540–20545.
- [64] Van Spronsen, P.C., Bakhuizen, R., Van Brussel, A.A.N., Kijne, J., & .W. (1994). Cell-wall degradation during infection thread formation by the root- nodule bacterium *Rhizobium leguminosarum* is a 2-step process. *Eur. J. Cell Biol.*, 64, 88–94.
- [65] Timmers, A.C.J., Auriac, M.C., & Truchet, G. (1999). Refined analysis of early symbiotic steps of the *Rhizobium-Medicago* interaction in relationship with microtubular cytoskeleton rearrangements. *Development*, 126, 3617–3628.
- [66] Yüzbaşıoğlu, E., Dalyan, E., Memon, A., Öz, G. & Yüksel, B., (2017). Functional specialization of Arf paralogs in nodules of model legume, *Medicago truncatula*. *Plant Growth Regul.* 81, 501–510.
- [67] Tate, R., Patriarca, E.J., Riccio, A., Defez, R., & Iaccarino, M., (1994). Development of *Phaseolus vulgaris* root nodules. *Mol. Plant Microbe Interact.* 7, 582–589.
- [68] Jones, K.M., Kobayashi, H., Davies, B.W., Taga, W.E., & Walker, G.C. (2007). How rhizobial symbionts invade plants: the *Sinorhizobium-Medicago* model. *Nature Microbiology*, 5, 619-633.
- [69] Walker, S. A. & Downie, J. A. (2000). Entry of *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae into root hairs requires minimal nod factor specificity, but subsequent infection thread growth requires nodO or nodE. *Mol. Plant Microbe Interact.* 13: 754–762.
- [69] Gage, D.J. (2002). Analysis of infection thread development using GFP- and DsRed-expressing *Sinorhizobium meliloti*. *J. Bacteriol.*, 184, 7042–7046.
- [70] Cheng, H. P. & Walker, G. C. (1998). Succinoglycan is required for initiation and elongation of infection threads during nodulation of alfalfa by *Rhizobium meliloti*. *J. Bacteriol.* 180: 5183–5191.
- [71] Wang, L. X., Wang, Y., Pellock, B., & Walker, G. C. (1999). Structural characterization of the symbiotically important low-molecular-weight succinoglycan of *Sinorhizobium meliloti*. *J. Bacteriology* 181: 6788–6796.
- [72] Yang, W.C., De Blank, C., Franssen, H. & Bisseling, T. (1994). *Rhizobium* nod factors reactivate the cell cycle during infection and nodule primordium formation, but the cell cycle is only completed in primordium formation. *Plant Cell* , 6,1415–1426.
- [73] Robertson, J.G. & Lyttleton, P. (1984). Division of peribacteroid membranes in root nodules of white clover. *J. Cell Sci.* 69, 147–157.
- [74] Stacey, G. (2007). The *Rhizobium*-Legume Nitrogen-Fixing Symbiosis, *Biology of the Nitrogen Cycle*, Chapter 10, Elsevier B.V.

A Research on Sustainability of a Geothermal Energy Resource in Kırklareli City

Kırklareli İlinde Jeotermal Enerji Kaynağının Sürdürülebilirliği Üzerine Bir Araştırma

Betül ÖZER¹ , Sinem KIZILAY² 

¹Kırklareli University, The Faculty of Technology, Energy Systems Engineering Department, 39000, Kırklareli, Turkey

²Kırklareli University, Institute of Science, Energy Systems Engineering Programme, 39000, Kırklareli, Turkey

Abstract

Geothermal energy is one of the most important renewable energy sources which provides a massive contribution to the existing region. Low-enthalpy resources are convenient, especially for direct usage applications such as household and greenhouse heating and thermal tourism with today's technology. Direct usage applications have social and economic positive effects via supplying the primary demand of the local communities, such as heating and nourishment. Although geothermal energy is clean and renewable, that causes adverse environmental impacts during drilling or usage stages. Therefore, some criteria should be taken into consideration for the sustainable evaluation of the source. These criteria can be identified within the determined framework of sustainable development goals for each resource. In this study, a newly discovered geothermal energy resource at Kırklareli- Asılıbeyli Region is investigated for potential applications according to the UN (United Nations) Sustainable Development Goals. It is pointed out the precautions should be taken into consideration from the discovery phase until the end of life for sustainable use of the source.

Keywords: sustainable development, geothermal energy, sustainability goals, Kırklareli.

Öz

Jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olup, bulunduğu bölgeye önemli katkılar sağlamaktadır. Bu kaynağı, konutlarda ve seralarda ısıtma amaçlı olarak veya termal turizm amacıyla doğrudan kullanabilmek için günümüz teknolojiyle düşük entalpili sahalar yeterli olabilmektedir. Doğrudan kullanım uygulamaları bölge halkının ısınma ve beslenme gibi temel ihtiyaçlarını karşılayarak ekonomik ve sosyal olarak olumlu etkiler yaratmaktadır. Jeotermal enerji temiz ve yenilenebilir olmasına rağmen sondaj esnasında veya kullanım aşamasında çevresel açıdan olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu sebeple enerji kaynağının sürdürülebilir olarak değerlendirilmesi için bazı kriterler dikkate alınmalıdır. Bu kriterler her bir kaynak için belirlenen çerçeve kapsamında sürdürülebilir gelişme hedeflerine uygun olarak belirlenebilir. Bu çalışmada Kırklareli-Asılıbeyli Bölgesi'nde yeni bulunan jeotermal enerji kaynağının potansiyel kullanımı BM (Birleşmiş Milletler) Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine göre incelenmiştir. Kaynağın sürdürülebilir olarak kullanılması için keşfinden kullanım ömrü sonuna kadar gerekli önlemlerin alınması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: sürdürülebilir gelişme, jeotermal enerji, sürdürülebilirlik hedefleri, Kırklareli.

I. INTRODUCTION

Energy is the most significant power that shapes the necessities of the world. Increasing population, industrialization, technological improvements lead the world to crisis globally due to finite fossil sources of energy. In order to get a solution to this crisis, fossil energy sources should be replaced by renewable sources gradually. The widespread use of renewable energy sources will be effective in preventing ongoing environmental problems caused by conventional energy sources. According to the Renewables 2018 Global Status Report (REN21) [1], the non-renewable electricity accounts for 73.5% in the global electricity production by the end of 2017. Countries that export petroleum began to search for ways to increase the usage of renewable energy sources for most of their energy needs. Erdil and Erbyık, and Olabi [2,3] indicated that researches and developments should be achieved the hope of 100% renewable energy by 2050, not only for the developed countries also with the most of the developing countries as well. Moreover, Connolly et al. [4] have claimed 100% renewable energy system in Europe is technically possible by the year 2050 by using the smart energy system approach.

Since renewable energy sources also have adverse environmental effects, they should be examined under a sustainable development point of view. Sustainable development is defined as providing today's needs without sacrificing the ability of future generations to meet their needs in the Brundtland's report [5]. In this context, sustainable energy can be defined as the energy sources that are expected to be consumed in a time period related to the human generation [6]. The definition indicates the widespread use and utilisation of renewable energy sources in a sustainable manner. Those are the main strategies for energy, environment, and climate change-related issues. On the other hand, energy should be provided by an affordable, accessible, and reliable manner while considering equitable distribution in meeting the economic, social, and environmental needs of the society. Particularly, energy production and consumption should be within the scope of sustainable development terms that lead to efficient use of the resources. The United Nations (UN) set 17 goals for a globally better future, and those are intended to be achieved by the year 2030 [7].

Renewable energy includes solar power, wind, wave, tidal, hydropower, geothermal, biomass, organic waste. Especially, geothermal energy is a type of renewable energy that has been produced commercially for nearly a century, both using directly for heating and transformed into electricity [8]. Geothermal resources are classified as low, medium, and high enthalpy resources by their reservoir temperatures [9]. High enthalpy resources are defined when reservoir temperature is higher than 150°C, for the temperature 70°C-150°C that is called medium enthalpy and low enthalpy resources are called for the temperature 20°C-70°C. Medium to high enthalpy resources are used for electricity generation, whereas medium or even low enthalpy sources can be used directly for heating purposes.

Geothermal energy may be utilised in a sustainable manner by means of not damaging the source, which is possible by replacing the energy of the source [10]. Execution of any geothermal project should follow the perspective of sustainable development in order to save the environment for the future, and obtain its ground and underground richness. Direct thermal extraction of the geothermal resource is increased to 25 GWth of total capacity globally, whereas space heating is one of the fastest growing sectors. Particularly, Indonesia and Turkey contributed to the three-fourths of 0.71 GW additional capacity in 2017 by bringing the total global capacity to approximately 12.8 GW. Moreover, Turkey has a grand geothermal energy potential and utilisation ratio, which is listed in the top 5 countries of both power and heat capacity among the US, Indonesia, China, Iceland, Japan, Hungary, with 1.1 GW installed geothermal power by the end of 2017 [1].

Due to execute any sustainable project, an individual framework, which consists of themes and subthemes

for the actions to reach sustainability goals is needed. In order to apply the correct framework, The Commission for Sustainable Development (CSD) has called core indicators under these themes and subthemes of the actions to measure and calibrate progress towards sustainable development goals for the development. Accordingly, a sustainable development indicator (SDI) is explained as a "quantitative tool that analyses alterations, while evaluating and communicating progress towards the sustainable use and management of economic, social, institutional and environmental resources" [11]. The indicators also provide an overview of the progress towards a more sustainable economy, society and environment. Furthermore, the indicator framework may be a starting point for decision makers for sustainable energy projects.

Evans et al. [12] stated that environmental footprint has to be taken into account for all planned energy projects, especially for future investments. The environmental footprint expresses the entire lifecycle from reserve mining to processing with emissions, including waste management, particularly reinjection for geothermal projects. In the evaluation of each stage of renewable energy utilisation, the qualification of the impact must be identified with key indicators. The indicators should be based upon environmental, economic and social impacts, resource consumption, waste management, gas emissions, availability of renewable energy sources, and the economic added value, especially to the local economy. Furthermore, Santoyo-Castelazo and Azapagic [13] stated, sustainable energy systems require the consideration of three sustainability dimensions, including environmental, economic, and social impacts. Accordingly, certain indicators under the specified themes should be chosen fitting to the region's characteristic properties for creating a framework to reach the settled sustainability goals. Besides, Shortall et al. [14] defined the sustainability assessment framework, which includes established goals, themes, and indicators that suit geothermal energy projects in Iceland, New Zealand, and Kenya. They determined the goals towards the sustainable geothermal energy, where environmental management was the common goal, and water usage was the most crucial environment-related issue. The study pointed out the fact that sustainable geothermal projects must be analysed locally, and goals must be picked due to region's needs.

Turkey has goals in accordance with sustainable development, like most of the developing countries. According to the 2010-2014 development plan [15], ensuring efficient, effective, safe, and environment-sensitive use of energy from natural resources is a mission for the path of reducing the external energy dependency of Turkey. In this way, the country's welfare will be improved. Correspondingly, sustainability is designed as a framework that covers all energy related themes in the latest strategic plan of

Turkey. All the objectives, targets, and strategies of the plan are based on the principles of environmental, economic, and social sustainability that all make the development of renewable and sustainable energy of Turkey [16]. Furthermore, Turkey has also set a desirous target of supplying 30% of all electricity demand from renewable energy sources in 2023 [17]. Turkey has abundant renewable energy sources of hydropower, biomass, wind, geothermal, and solar energy. Even though all are crucially important to supply energy, they have a dependency on the weather conditions except geothermal energy, which can provide energy all the time of the year [18]. Turkey is located on the Mediterranean portion of the Alpine–Himalayan Tectonic Belt and one of the wealthiest countries in the matter of geothermal resources around the world [19]. Due to this potential, new geothermal reservoirs are being discovered all over Turkey. Likewise, low-enthalpy geothermal resource in Asilbeyli-Kırklareli City at Thrace Region is newly discovered by Mineral Research and Exploration (MTA) [20]. Thrace Region is located on the north-west side of Turkey, including three cities named Tekirdağ, Kırklareli, and Edirne, partially of Istanbul and Çanakkale cities. Çorlu, Çerkezköy, Lüleburgaz, and Keşan are the big towns of the Region, those have a high capacity of industrial zones and takes the significant burden of İstanbul's production, have various exporting factories and provide a variety of goods to all over Turkey. The industrial establishments promote not only the economic growth of the Region but also the population increase, those result raising of energy demand excessively. Accordingly, there are many power plant investments, both existing and planned, including fossil fuels (coal and natural gas) and renewable energy sources (wind, solar, and biomass) in the Thrace Region. One of the newest geothermal energy resources in the Region may be an alternative sustainable renewable energy source option. Geothermal energy is one of the vital renewable and clean energy sources that can provide a massive contribution to the Region via direct or indirect usage for energy supply. That may be a very critical energy resource by providing the return on investment in a relatively short time and relatively less environmental damage.

The operation of geothermal plants should be reliable, and the security of supply should be prioritized. This paper aims to present the sustainable use option of the geothermal energy source in Asilbeyli-Kırklareli location that is one of the significant alternative renewable energy sources in the Thrace Region. In this study, the most related sustainable development goals are examined due to the available data for the geothermal energy source; those are mentioned in the materials and method section.

II. MATERIALS AND METHOD

An individual framework is needed for potential

projects to be able to reach the goals, and the framework consists of indicators to point out the levels. Asilbeyli-Kırklareli geothermal energy source was evaluated basing on the related four main goals mentioned by the UN [7]. The data obtained from MTA [21] for the drilled geothermal well were used for the evaluation of the resource potential for sustainability basing on the identified goals. The geothermal reservoir has a depth of 1500 m. According to well test data, the maximum well static temperature is 74.38°C at 1476 meters, and the reservoir level is around 1100-1200 meters according to the water loss test that indicates the temperature is between approximately 55°C and 64°C. The other specifications of the well are given in Table 1.

The energy potential of the well is convenient for direct usage applications such as household heating, green housing, and thermal tourism. Direct usage applications can be critical for basic demand, such as the heating and nourishment of the local communities in Kırklareli. The well has 2.38 MWt (MW thermal) energy potential that can be utilised for heating of 340 houses, green housing area of 12,500 m², and potential of thermal tourism for approximately 2,600 people [21]. The most related four goals have been identified to specify the sustainability of the geothermal resource through the 17 goals from "The global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development" defined by UN [7]. Since Kırklareli has a significant agricultural production, this geothermal energy source should not cause any water and soil pollution. And this potential's execution should be economically feasible. Therefore, all these criteria had been taken into consideration with compatibility of Kırklareli. The goals selected according to the location-based and geographic conditions are mentioned below:

Goal#1: Clean Energy, that is related to "ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all" (Goal#7) and "make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable (Goal #11), [7] which accounts for the fluid that generated from geothermal reservoirs is replaceable by naturally with groundwater or reinjected from the surface which makes the source sustainable. That is mentioned as the main goal in all the geothermal projects as the source generate clean energy and replenished naturally.

Goal#2: Zero hunger, that is related to "end hunger, achieve food security and improved nutrition, and promote sustainable agriculture" (Goal#2) and UN's Goal #7 [7]. Maximizing the utilisation of geothermal energy is essential and also contributes to sustainability. The production rate should be balanced according to the purpose of the use.

Goal#3: Economic growth and well-being, geothermal power plants, heating and cooling systems should be cost-effective and financially suitable in order to supply benefits to the Region. The project

should carry net positive national and community economic benefits. This goal is related to "promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment, and decent work for all" (Goal#8) and "ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages" (Goal #3)[7].

Goal#4: Clean water, a geothermal resource, should be utilised causing no adverse environmental effects, and water usage must not interfere with determined beneficial usage of the water resource. This goal is related to "ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all" (Goal#6), [7]. Geothermal operations, even from the drilling process, produce gas emissions and wastewater, which may include heavy metals as Arsenic, Mercury, Ammonia, and Boron at various levels. Higher concentrations of heavy metals may cause serious health problems. They also contaminate soil and water sources (both surface and groundwater) used for drinking and agricultural purposes; therefore, reinjection should be applied with comprehensive geothermal resource management, particularly sustainable utilisation of the resource.

Table 1. Chemical analysis lab results of water from geothermal source [21]

Sample Location		Kırklareli - Asilbeyli
Temperature and Flow Rate		57 °C, 30 l/sec (compressor) 3.5 l/sec (artesian)
Smell-Taste		-
Coordinates		E-18 d2 X: 4614580 Y: 0520080
		mg/l
Cations	Na ⁺	645
	Ca ⁺⁺	4,04
	Mg ⁺⁺	1,74
	NH ₄ ⁺	5,3
	Total	656,08
Anions	HCO ₃ ⁻	993
	CO ₃ ⁻	<10
	SO ₄ ⁻	2,89
	Cl ⁻	480
	F ⁻	12
	Br ⁻	1,5
	NO ₃ ⁻	0,64
	PO ₄ (total)	<0,1
Total	1.490,03	
Others	SiO ₂	25,1
Total Mineralization (mg/l)		2.171,21
pH (26,8 °C)		7,9
Total Hardness		1 A°
Temporary Hardness		1 A°
Permanent Hardness		0 A°
Water's Class, according to the International Hydrogeologists Union's (IHU) Standards: hot mineral water with sodium, bicarbonate, and chloride.		

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of the sustainability evaluation of the Asilbeyli-Kırklareli geothermal energy source based on the identified four goals in this study are mentioned below.

The well can be capable of heating 340 houses that is convenient to the Goal#1, clean energy. The use of the geothermal source for house heating would affect the community via supplying affordable, reliable, sustainable, and modern energy use, and increase substantially the share of renewable energy in the total energy mix of Turkey, contributing to the UN's targets for 2030 as convenient to the Goal#7 and Goal #11 [7]. Moreover, house heating benefits with geothermal energy sources are pointed as the use of national and clean energy, modularity, high efficiency, easy to use, lower transportation and maintenance costs, and diversity of usage. Besides its benefits, there might be some limitations during house heating by geothermal source usage, which can be listed as geothermal fluid composition, wellhead flow, usage density, source temperature, the distance between the wells, and the usage area [22]. Distance between the well and usage areas set the limit between source temperature and fluid temperature, which reaches to houses to be heated. This limitation has to be balanced while choosing the houses to be heated by their locations. Furthermore, 340 houses in Kırklareli may cover some number of villages that are already using coal for heating. Using geothermal energy will improve the air quality of the city by avoiding significant emissions such as particulate matter, CO₂, CO, SO_x, and NO_x, causing severe air pollution occurring by coal combustion. Moreover, 2,38 MWt capacity can utilise 0,124% of the annual electricity demand of Kırklareli city [23], which is convenient to the Goal#1, clean energy.

The potential of the well is convenient for 12,500 m² area of green housing, which benefits directly to the agriculture, whereas indirect environmental and economic benefits are convenient to the Goal#2, zero hunger, and Goal #3, Economic growth and well-being. Geothermal energy has several advantages such as: relatively cheaper than fossil and other alternative energy sources, it is reliable and has no risks of fire or explosion, needs minimum space compared to hydro or photovoltaic, the installation is easier and faster, shorter operation and maintenance time (6 months to 1 year) and has long facility life. Moreover, the use of geothermal resources for green housing is crucial and has various advantages comparing to the other energy sources. Proper heating system could increase the insemination efficiency that causes the efficiency increase of the whole greenhouse system up to 50-60%. [24]. Pumping carbon dioxide from the geothermal resource into greenhouses also increases the efficiency up to 40% via positive effect to photosynthesis. Additionally, the ideal temperature gives the opportunity of production without synthetic growth hormones to the plants [25]. Since Kırklareli has a

significant agriculture potential, green housing heating by geothermal source can contribute Region's sustainable agriculture production. This potential also matches up with UN's Goal#2 which has been established as, "ensure sustainable food production systems and implement resilient agricultural practices that increase productivity and production, that helps maintain ecosystems, strengthens capacity for adaptation to climate change, extreme weather, drought, flooding and other disasters and that progressively improve land and soil quality" and Goal #7 as "ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all" [7].

Goal#3, Economic growth and well-being is correlated with the thermal tourism potential of the source for the 2,600 individuals. Tourism activities may have a positive impact on the Region's economy and recognition of Kırklareli that is one of the requirements for the socio-economic development of the city. Furthermore, the direct use of geothermal energy can also provide local employment opportunities. There is also an ongoing thermal hotel project at Saray-Tekirdağ in the same region for 3,000 individuals and has similar potential with Asilbeyli well as 2.5 MWt equivalent energy potential, 13,158 m² of green housing and 358 household heating [26]. Asilbeyli may be another thermal tourism centre in the Thrace Region with a capacity of 2,600 individuals.

Avoiding the pollution of the environment is one of the main purposes of the Goal#4, clean water. The environmental impacts cover the disruption of the atmosphere, water, and soil owing to waste issues. Conservation of water resources for the determined beneficial use purposes, e.g., potable, irrigational, reinjection process of the geothermal reservoir is obligatory. For the prevention of both surface and underground water sources from contamination with heavy metals and other pollutants, reinjection and filtration should be applied to the geothermal fluid. These are also parallel with the UN's target for 2030, which includes "improving water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater, and substantially increasing recycling and safe reuse of water globally" [7]. Therefore, water analysis of the geothermal resources has to be evaluated carefully for environmental sustainability. According to the water analysis of the well in Asilbeyli Na, Cl, Pb, Zn, Cu, Ni, B are within the limits of the World Health Organization (WHO) standards for direct usage of agricultural purposes. However, fluoride is detected higher than the standard level of 1.5 mg/l of the WHO standard, [27] for potable water, which should be taken into consideration for public health.

Moreover, Yılmaz and Kaptan [28] pointed out the adverse environmental effects of geothermal plants, especially Boron toxicity, heavy metals, and

microclimatic changes due to the downhole fluid generated during the drilling, stimulation, and production phases. The main environmental problems were mentioned as the poisoning of both surface and groundwater, and harming the local vegetation in the study.

Another study from Kömürcü and Akpınar [29] states that certain treatment techniques of the waste fluid has to be applied in order to minimise environmental problems caused by geothermal energy usage, and the reinjection of the waste water is essential for both environmental and reservoir protection. Dumanoğlu, [30] has recently investigated H₂S concentrations in the air near Aydın and Manisa, where the majority of the geothermal power plants based, and found the concentrations were below the limit, but it has to be monitored continuously due to increase in production.

Furthermore, Tut Haklıdır [31] stated that the sustainability of geothermal reservoir relies on optimum geothermal fluid production which is possible with reservoir protection, well optimization, reservoir pressure control and effective reinjection scenarios in the geothermal field. Also, geothermal reservoirs have various thermodynamic conditions that require continuous hydrogeochemical monitoring [31].

The selected goals in this study basing on the UN's sustainable goals are summarised with Table 2.

Table 2. Goals selection for Kırklareli City

Selected Goals From UN's Goals For 2.38 MWt Source At Kırklareli City [21]	UN'S Sustainable Development Goals [7]
GOAL 1: Clean energy for sustainable city for heating of 340 Houses	Goal #7: Affordable and Clean Energy
	Goal #11: Sustainable Cities and Communities
GOAL 2: Zero hunger for 12,500 m ² capacity of green housing	Goal #2: Zero Hunger
	Goal #7: Affordable and Clean Energy
GOAL 3: Economic growth and well-being for 2,600 people capacity of geothermal tourism	Goal #3: Good Health and Well-being
	Goal #8: Decent Work and Economic Growth
GOAL 4: Clean water preserving water for sustainability of the source via reinjection for all utilisations	Goal #6: Clean Water and Sanitation

IV. CONCLUSION

Increasing the use of renewable energy and sustainable use of all the energy sources would be permanent solutions for energy-related global current and future problems. As a renewable energy source, geothermal energy is offered as an alternative to fossil fuels. However, the use of geothermal energy sources has environmental impacts as all other energy sources. Sustainability should also be applied to renewable energy use as well as conventional fossil energy use via systematic applications of sustainable development. Sustainable geothermal energy is possible if the precautions can be applied to avoid negative impacts even before utilising it. The precautions have to be taken by following the indicators and corresponding sustainable development goals from the discovery phase to the end of life.

In this study, Asilbeyli-Kırklareli geothermal energy source was evaluated based on the location-based sustainable development goals identified by the UN [7]. Sustainable utilisation of the geothermal energy source will contribute the environmentally friendly renewable energy use in Kırklareli. This approach would also be widespread to the other types of renewable energy sources, especially wind, hydro, and biomass power plants. Hence, precautions and decisions have to be made within a sustainable development framework considering the identified goals.

This study is important and contributes to science by taking attention to the environmental effects of renewable energy sources and in terms of identifying the criteria for evaluating the source for a sustainable development approach, particularly via defining the related location-based goals. In the decision-making process, attention should be drawn to the assessment criteria for a sustainable renewable energy supply approach. Some of the other remaining goals, such as "ensure sustainable consumption and production patterns and take urgent action to combat climate change and its impacts," may also be evaluated for all geothermal energy resources to be used in a sustainable manner; those may be the subject of a future work.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to Lütfi Taşkıran from the Turkish General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) for the support and data provided for this paper.

REFERENCES

- [1] REN21 Secretariat, (2018), Renewables 2018 Global Status Report, Paris. ISBN 978-3-9818911-3-3.
- [2] Erdil, A., Erbiyik, H., (2015). Renewable energy sources of Turkey and assessment of sustainability, *Procedia Social and Behavioural Sciences*, 207, 669-679. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.10.137.
- [3] Olabi, A. G. (2014). 100% Sustainable energy. *Energy*, 77, 1-5. doi:10.1016/j.energy.2014.10.083.
- [4] Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. (2016). Smart energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1634-1653. doi:10.1016/j.rser.2016.02.025.
- [5] WCED, (1987). Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, New York, USA.
- [6] Lund H. (2014). Renewable energy systems, ISBN 978-0-12-410423-5.
- [7] UN, (2017). Global indicator framework for the Sustainable Development Goals and targets of the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/71/313, Retrieved May 2, 2019, from <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/indicators-list/>
- [8] Irena, (2017). Geothermal Power: Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [9] Lee K. C. (1996). Classification of geothermal resources-an engineering approach, *Proceedings of the Twenty-First Workshop Geothermal Reservoir Engineering*. January 22-24.
- [10] Rybach, L. (2007). Geothermal Sustainability. *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin*. Vol. 28 No:3 ISSN 0276-1084
- [11] UN, (2001). Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Retrieved May 10, 2019, from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/indisd-mg2001.pdf>
- [12] Evans, A., Strezov, V., Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No: 13(5), pp. 1082-1088. doi:10.1016/j.rser.2008.03.008.
- [13] Santoyo-Castelazo, E., Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: Integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, No: 80, p.p. 119-138. doi:10.1016/j.jclepro.2014.05.061.
- [14] Shortall, R., Davidsdottir, B., Axelsson, G. (2015). A sustainability assessment framework for geothermal energy projects: Development in Iceland, New Zealand and Kenya. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No:50, p.p. 372-407. doi:10.1016/j.rser.2015.04.175.
- [15] ETKB, (2010). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Strategic Development Plan. Ankara. Retrieved from <http://www.sp.gov.tr/tr/stratejik-plan/s/269/Enerji+ve+Tabii+Kaynaklar+Bakanligi+2010-2014>, accessed on: 01.05.2019.

- [16] ETKB, (2017). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Strategic Development Plan. Ankara. Retrieved from <https://sp.enerji.gov.tr/sp-2015-2019.html>, accessed on: 01.05.2019.
- [17] ETKB, (2014). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, National Course of Action for Renewable Energy. Ankara. Retrieved from <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri/Ulusal-Yenilenebilir-Enerji-Eylem-Plani-> accessed on: 01.05.2019.
- [18] Melikoglu, M. (2017). Geothermal energy in Turkey and around the World: A review of the literature and an analysis based on Turkey's Vision 2023 energy targets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No: 76, p.p. 485-492. doi:10.1016/j.rser.2017.03.082
- [19] Hepbasli, A., Canakci, C. (2003). Geothermal district heating applications in Turkey: A case study of Izmir-Balcova. *Energy Conversion and Management*, 44(8), 1285-1301. doi:10.1016/s0196-8904(02)00121-8
- [20] MTA, (2017). Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları, Trakya Jeotermal Etüt Çalışmaları. *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)*, Retrieved from <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, accessed on: 19.04.2019.
- [21] MTA, (2017). "Kırklareli-Merkez Ar: 201339002, Ar: 201339003 ve Ar: 201339004 No.lu Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahaları Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) ve Kma- 2014/2 Jeotermal Gradyan, Kma-2014/7 Jeotermal Araştırma Sondajları Kuyu Bitirme Raporu" *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)*, November 2017.
- [22] Altaş, S. (2010). Kızılcahamam Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi ile Klasik Merkezi Isıtma Sisteminin Karşılaştırılması, Master Thesis, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [23] Özer, B., Kızılay, S. (2018). A Research on Geothermal Energy Potential in Kırklareli City of Turkey: Is It Actually Sustainable? *Proc. 3rd International Conference on Organic Electronic Material Technologies (OEMT2018)*. pg. 267–278. Sep 20-22, 2018, ISBN: 978-605-68918-1-6
- [24] Hasdemir, M, Gül, U, Hasdemir, M, Yasan Ataseven, Z. (2015). Jeotermal Sera İşletmelerinin Bilgi Kaynakları. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 1 (2), 42-51. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tead/issue/12731/155081>
- [25] Kendirli, B, Çakmak, B. (2010). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sera Isıtmasında Kullanımı. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2 (1), 95-103. DOI: 10.1501/Csaum_0000000029
- [26] MTA, (2018). "Tekirdağ-Saray Ar: 2012590004 No.lu Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahası Jeotermal Etüt (Jeoloji-Jeofizik) ve Ts-2015/1 Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)*, Retrieved from https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=20965 accessed on: 01.07.2020.
- [27] WHO, (2017). Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva, pg.371., *World Health Organization (WHO)*, License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. ISBN 978-92-4-154995-0)
- [28] Yılmaz, E., Kaptan, M.A. (2017). Environmental impact of geothermal power plants in Aydın, Turkey. *EEMS 2017, E3S Web of Conferences 19, 02028* doi:10.1051/e3sconf/20171902028
- [29] Kömürcü, M. I., Akpınar, A. (2009). Importance of geothermal energy and its environmental effects in Turkey. *Renewable Energy*, 34(6), 1611-1615. doi:10.1016/j.renene.2008.11.012
- [30] Dumanoglu, Y., 2020. Monitoring of hydrogen sulfide concentration in the atmosphere near two geothermal power plants of Turkey, *Atmospheric Pollution Research*, doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.015
- [31] Tut Hakkıdır F.S. (2020), The importance of long-term well management in geothermal power systems using fuzzy control: A Western Anatolia (Turkey) case study, *Energy*, Vol. 213, ISSN 0360-5442, doi:10.1016/j.energy.2020.118817.

Stock Market Prediction in Istanbul Stock Exchange by Combining Stock Price Information and Sentiment Analysis

Duygu Analizi ve Hisse Fiyat Bilgisinin Birleştirilmesiyle Hisse Senedi Piyasası Tahmini

Adnan GUMUS¹ , C. Okan SAKAR¹ 

¹ Bahcesehir University, Department of Computer Engineering, 34353, Istanbul, Turkey

Abstract

Predicting the stock market instrument price is a valuable but challenging machine learning task. Researchers use advanced techniques to improve the generalization ability of stock prediction models. However, considering that the stock market highly depends on the political and macroeconomic developments as well as the mood of the related investors, the models that use only stock prices fail to cover all factors affecting the stock market. Therefore, to improve the prediction accuracy of stock market prediction, in this study, we first apply sentiment analysis to the news related with the market and related stock, and then combine the sentiment labels of the news with stock prices and commonly used technical indicators. The obtained cumulative dataset is used to train a long short-term memory recurrent neural network, and the output of this regression model is used in the prediction of the closing price movement to decide whether the closing price next day will be higher. The experiments performed on 8-year data showed that while the F1 score of the model built without sentiment analysis was around 0.56, it has increased to 0.65 when stock prices are combined with sentiment labels. The results show that the model with sentiment labels fits better to the actual prices especially when there is a high volatility in the stock price.

Keywords: Recurrent Neural Network, Long Short-Term Memory, Text Classification, Sentiment Analysis, Technical Analysis.

Öz

Pay piyasasındaki bir enstrümanın fiyatını tahmin etmek, oldukça değerli ve aynı zamanda oldukça zor yapay öğrenme görevlerinden biridir. Araştırmacılar hisse fiyat tahmin modellerinin genellenebilirlik kabiliyetlerinin artırılması için ileri teknikler kullanmaktadır. Ancak, hisse senedi piyasasının politik ve makroekonomik haberler ve yatırımcıların duygu durumu ile yakından ilişkili olduğu düşünüldüğünde, yalnızca hisse fiyat bilgisini kullanan modeller hisse senedi piyasasını etkileyen tüm faktörleri kapsama konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, hisse senedi tahmin başarısının artırılması için piyasa ve ilgili hisse haberlerine duygu analizi uygulanmakta ve daha sonra duygu etiketleri ile hisse fiyatları ve en sık kullanılan teknik indikatörleri birleştirilmektedir. Elde edilen kümülatif veri kümesi bir kısa uzun-hafızalı özyinelemeli sinir ağının eğitilmesinde kullanılmış ve bu regresyon modelinin çıktısı bir sonraki günün kapanış fiyatının daha yukarıda olup olmayacağını tahmin etmek için kullanılmıştır. Sekiz yıllık hisse senedi verisi üzerinde yapılan deneyler, duygu analizi olmadan kurulan modelin F1 skoru 0,56 civarında iken, hisse fiyatı duygu etiketleri ile birlikte kullanıldığında bu değerin 0,65 civarına yükseldiğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle piyasada yüksek volatilitate olduğunda, duygu etiketini kullanan modelin gerçek hisse fiyatlarına daha yakın olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Özyinelemeli Sinir Ağları, Uzun Kısa-Dönem Hafıza, Metin Sınıflandırma, Duygu Analizi, Teknik Analiz.

I. INTRODUCTION

Recently, there is an increasing interest in building stock price prediction models using various methods [1]. Most of the stock prediction works are based on the use of quantitative data consisting of historical stock prices and various technical indicators which can be taken from various financial data providers. These studies generally build statistical or machine learning-based prediction models to estimate the future stock prices [1, 2].

Improved prediction techniques that can cope with complex and non-linear dynamics of the stock market data such as deep learning methods have been applied the stock prediction problem [3-5]. However, the studies that use only numerical data for prediction mostly suffer from the lack of the use of some hidden factors in the input space such as the expectations about the related stock, mood of the society, micro/macro-economic and political developments. The relation between the past and current stock price and the future price refers to such factors which cannot be easily integrated to the prediction system. The investors and experts utilize fundamental analysis techniques to incorporate such factors into their investment decisions. In recent years, with the availability of

different platforms that may possess information about these hidden factors, some researchers have also attempted to include these factors in their prediction models. These studies generally combine historical prices with sentiment analysis of text data collected from various sources [6-9].

In this study, we aim to evaluate the effect of integrating investor sentiment into stock prediction task for Istanbul Stock Exchange. For this purpose, we build a model that predicts next day's stock price movement using historical stock prices, news about the related stock, and financial and political news. We perform sentiment analysis to the news using a recently developed library, FastText, which is used to obtain vector representations for words [10]. We classify each news as positive, negative or neutral, extract features from the sentiment outputs and feed these features to long short-term memory recurrent neural network (LSTM-RNN) algorithm as input together with the stock prices. We present the comparative results, with and without sentiment analysis, on a stock price dataset collected from Istanbul Stock Market.

One of the main contributions of this study is to use a longer period data, 8 years, to build the model. Most of the existing studies that combine sentiment analysis and historical data for stock prediction use a shorter test period [6]. We use a fast and efficient word embedding library for sentiment analysis, FastText, which has shown great success on various datasets [11-14]. Instead of feeding the outputs of sentiment analysis directly to the system, we extract features by combining the probability estimates of classes and the favorite count of each news. Thus, the importance of the news is also taken into account to generate the input. Another contribution is, to the best of knowledge for the first time, to combine sentiment analysis of news in Turkish language with price information and technical indicators for the prediction of a stock in Istanbul Stock Exchange. Although there are some previous works that analyze the impact of investor sentiment on conditional volatility and stock returns in Istanbul Stock Exchange [15, 16], different from these studies we integrate investor sentiment with price information using machine learning techniques for stock prediction. Considering that the financial market in emergent countries is highly sensitive to macro-economic and political news, we aim to test to what extent sentiment analysis can improve the prediction of the stock variability in Istanbul Stock Exchange.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 gives the related works that combine sentiment analysis and stock prices. Section 3 includes the description of the news and stock price datasets. The overview of the methods used in this study are explained in Section 4. Then, in Section 5, the sentiment classification and stock prediction results are presented. Finally, we conclude in Section 6.

II. RELATED WORK

There are some literature studies that analyze the effect of sentiment analysis in stock prediction. These studies generally follow one of the following two approaches. The first approach is to apply sentiment analysis to the text data related with the stock and then perform a correlation analysis between the sentiment of the text data and price or movement direction of the stock [8]. The second approach is to combine the sentiment information of the related text data with the stock price information and predict the price or movement direction with statistical or machine learning approaches using the combined data as input. In this section, we focus on the studies that follow the second approach since, similar to those studies, we evaluate the effect of sentiment analysis by combining it with the stock price data.

The sentiment analysis in the related studies is performed on the news collected from financial news providers or from comments of the related community in various social media platforms. In one of these studies, Nguyen et al. [6] extracted topics and related sentiments from the text in a message board and combined the obtained data with the historical price information to predict the stock movement. They designed the prediction problem as a binary classification problem, whether the stock price will be up or down, and used support vector machines with linear kernel for prediction. They used only the last two day's prices and sentiment analysis data as input to predict the next day's adjusted closing price. The results of their experiments performed on 1-year data on 18 stocks showed that the stock-price based model can be improved by around 2% accuracy in average by integrating the sentiment analysis into the model. They also noted that for the stocks that are difficult to predict, the improvement was around 10%. This finding might be a motivation to use sentiment analysis in the prediction of emergent countries' stocks since there is a higher volatility in these markets.

Liu et al. [9] aimed to predict the stock volatility in the Chinese market using stock price data with sentiment analysis. They, similar to our study, fed the fused input to recurrent neural networks for prediction. For sentiment analysis part, they extracted emotional words and assigned a weight to each of these words. They used the sum of weighted sentiment scores of all terms to represent the sentiment polarity of the related content. The dataset used in this study belongs to 250 trading days. They have tried many different time-step values, i.e. the length of historical data that will be used for prediction and found 10-days period as the optimal value. The results showed that the accuracy can be improved up to 12%, from 57% to 69%, by using sentimental information as input.

In another related work, Li et al. [17] proposed a sentiment-aware stock market prediction system. They

used Naïve-Bayes to classify forum posts as positive, negative, or neutral, combined this information with stock prices and gave it to LSTM-RNN to predict opening and closing prices of the next day. They also compared the LSTM-RNN results to SVM and concluded that LSTM-RNN outperforms SVM due to its ability of handling temporal sequences. They achieved an average F1 score of 0.63 for the sentiment classification task with Naïve Bayes. When the output of sentiment analysis is fed to the prediction model with stock price data, they achieved 88% accuracy for opening prices and 50% accuracy for closing prices.

Zhuge et al. [18] combined sentiment analysis and stock price data to predict the exact stock price in Shanghai Stock Exchange instead of predicting the movement of the stock. They also used Naïve Bayes to classify the posts in the forums as positive or negative. The combined data is fed to LSTM-RNN. We should note that, different from our study, they built the model to predict the opening price of the stock, which is an easier task than predicting the closing price since the input belonging to the previous days contains more recent information about the opening price.

Day and Lee [19] performed experiments to evaluate the effect of using different finance news providers in stock price movement using a deep-neural network architecture. They collected the news data from 4 news providers and the obtained results on the collected data showed that different financial news providers have significantly different effects to investors and their investments.

Weng et al. [20] fused information taken from multiple data sources to better predict the stock movements. They do not perform a sentiment analysis but instead use data from knowledge bases such as Google and Wikipedia to represent the public's collective interest in the related stock. They specifically give the number of visits made to the Wikipedia pages of the related stock and the amount of online content produced for the related stock into the model along with some technical indicators and stock prices. They performed experiments on Apple NASDAQ stock movement data spanning 37 month-period from May 1, 2012 to June 1, 2015. Their findings showed that combining stock price data with the information extracted from such knowledge bases may help to build more generalizable

prediction models.

III. DATASET DESCRIPTION

In this section, we provide details about the news and stock price dataset used in our experiments. We also give the pre-processing operations applied to the text data in this section.

3.1. Stock Data

Financial data can be collected from various data providers. In our study, we used Bloomberg platform to collect price information of a stock from Istanbul Stock Exchange. For this purpose, first, we collected daily price of GARAN stock for the years between 2010 and 2018. This dataset has 1892 data points each of which belongs to a trading day in Istanbul Stock Market in the specified time interval. We aim to predict the next day's closing price using the data belonging to the previous k days, where k represents the length of the historical data that will be used for the prediction. The output variable is a binary-coded variable whose value has been determined according to the sign of the difference between the closing price at time t and closing price at time $t-1$. The increase in price is represented with 1 and decrease in price with 0. The stock price historical data fed as input to the prediction model consists of the opening, highest, lowest and closing prices of the previous days.

3.2. Financial News Data

For the sentiment analysis part of our study, we received related political and financial news from Twitter. We collected 8 years of news about economy, politics and stock itself. We aim to obtain more reliable results by working with 8 years of data. Another advantage of using a long period of training data is that there are many seasonal movements and trends in the specified interval.

Figure 1 shows the distribution of number of news per day in the specified time interval. The total number of news is 55,341 and on average there are 62 news per day. It is seen that the number of comparably recent news is more than those of the previous years. Also, we have the 'favorite count' information for each news which indicates to what extent the related news is regarded by the related community. We used this information as a measure of the importance of the related news.

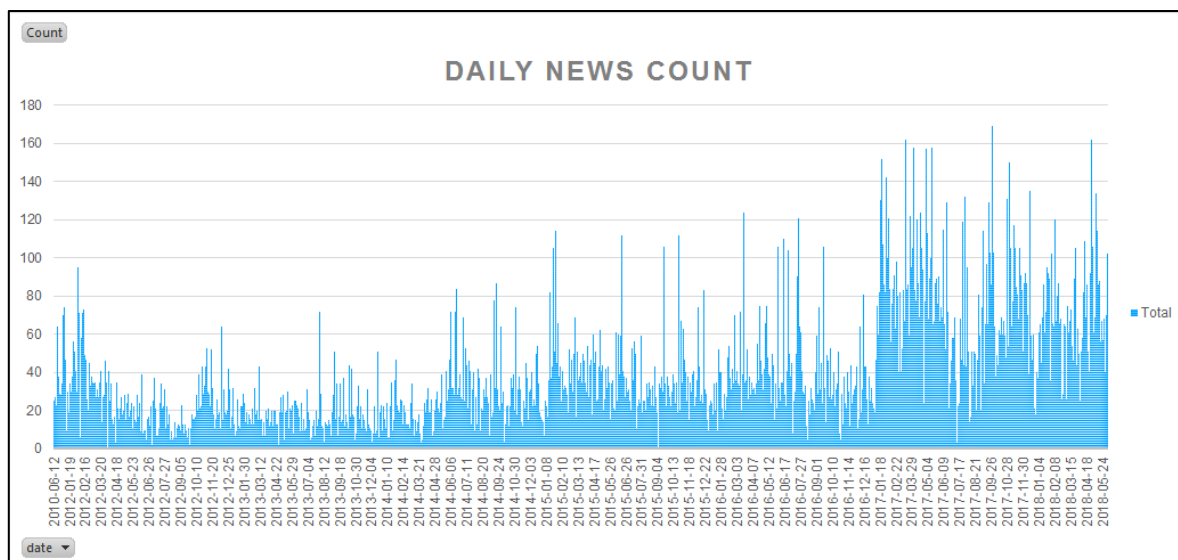


Figure 1. Distribution of number of daily news in the test period

3.3. Technical Indicators

In addition to the historical stock prices and sentiments of daily news, we calculated some technical indicators and incorporated them into the prediction model. The technical indicators are used in technical analysis by investors to make some predictions and inference about the future movements of the stocks in the market. Technical indicators are defined on the basis of previous stock prices and transaction volume information.

In our study, we used the variations of moving average, volume, and relative strength index. The moving average (MA) indicator is one of the most widely used indicators in technical analysis. To calculate MA, the average price of the last period is taken, and this value is used to evaluate how far the current price is from the average of the last period. We use the MA of 10, 30, and 50 days to represent this technical indicator in our input space. We also use the volume of the previous day and moving average of the volume of the last 5 days as input in our dataset.

The Relative Strength Index (RSI) is an indicator used to determine whether excessive prices of the financial instrument are oversold. The most common period used for RSI is 14 days [21]. We used 3, 9, 14, and 30 days in our study. The RSI value is measured in a range from 0 to 100, with a “high” value located at 70 and a “low” value located at 30.

IV. METHODS

In this section, the methods used throughout the experiments are described.

4.1. Text Processing and Classification

We first applied data cleaning techniques to clear the text data from irrelevant content such as spaces, web addresses, hashtags, and emojis. We have also detected and deleted the duplicated news. Stop words are the

most commonly occurring words in a text which are not relevant with the context of the data and do not contribute to the semantic meaning of the phrase. We removed these words from our news dataset. Then, we converted all words to small-case letters. The date information has been kept to be used for matching the news with the corresponding stock price information.

After the pre-processing steps, the obtained dataset is given to a text classifier for sentiment analysis. For this purpose, we first manually labeled 500 news as positive, negative and neutral. The average number of words in each news is 1401. Then, we used 10-fold cross validation to build a classification model using FastText tool. FastText is a library that efficiently performs vector representations and sentence classification of words, especially in languages such as Turkish where the same word differs structurally in grammar [10, 22]. FastText supports both supervised and unsupervised representations of words and sentences. The model built with FastText assigns each news into positive, negative, or neutral categories.

As we have stated in Section 3.2, in addition to the content of the news, we have the ‘favorite count’ information which indicates to what extent the related news is regarded by the related community. To extract more descriptive features from the news, we used the ‘favorite count’ information as a measure of the importance of the related news. For this purpose, we calculated weighted average values using sentiment labels and created PosAVG, NegAVG, and NotrAVG features from the news labeled as positive, negative or neutral, respectively, to represent the distribution of the sentiment of the news in the corresponding trading day. The value of PosAVG feature is calculated as:

$$PosAVG = \frac{1}{N_{pos}} \sum_{i \in X_{pos}} p_{pos}^i * f^i \tag{1}$$

where X_{pos} represents the set of news labeled as positive, p_{pos}^i the probability of i^{th} news belonging to positive class, f^i the favorite count of i^{th} news, and N_{pos} the number of positive news in the corresponding

trading day. Also, standard deviations for each sentiment label are calculated and the obtained features are combined with historical prices and technical indicators. All features used in our study are shown in Table 1.

Table 1. Summary of the features used in this study for stock movement prediction

Feature	Dataset	Explanation
Output	Stock Price	Target variable: Stock price at time $t + 1$
Open	Stock Price	Opening price at time t
High	Stock Price	Highest price at time t
Low	Stock Price	Lowest price at time t
Close	Stock Price	Closing price at time t
Volume	Stock Price	Volume at time t
MAV5Day	Technical Indicator	Moving Average of the volume of last 5-days
RSI3Day	Technical Indicator	RSI of last 3-days
RSI9Day	Technical Indicator	RSI of last 9-days
RSI14Day	Technical Indicator	Relative Strength Index of last 14-days
RSI30Day	Technical Indicator	Relative Strength Index of last 30-days
MA10Day	Technical Indicator	Moving Average of last 10-days
MA30Day	Technical Indicator	Moving Average of last 30-days
MA50Day	Technical Indicator	Moving Average of last 50-days
PosAVG	Sentiment Analysis	Weighted average of the positive tweets at time t
NegAVG	Sentiment Analysis	Weighted average of the negative tweets at time t
NotrAVG	Sentiment Analysis	Weighted average of the neutral tweets at time t
PosSTDEV	Sentiment Analysis	Standard deviation of the positive tweets at time t
NegSTDEV	Sentiment Analysis	Standard deviation of the negative tweets at time t
NotrSTDEV	Sentiment Analysis	Standard deviation of the neutral tweets at time t

4.2. Recurrent Neural Networks

We used LSTM-Recurrent Neural Networks (RNN) to predict the closing price of next trading day. In classical feedforward neural network structures, incoming information is processed only in forward direction without a loop structure. The input data is passed through the network and an output is produced in the final layer. In a feedforward network, it is assumed that the training and test samples are independent from each other. RNN, on the other hand, evaluates inputs based on previous inputs in a sequential manner assuming that there is a sequential or temporal relation between inputs and/or outputs of the network [23]. Figure 2 shows the unfolded structure of a RNNs. The decision for the input at moment “ $t-1$ ” which is shown with x_{t-1} , also impacts the decision to be made at time “ t ”. So, in these networks, inputs produce output, which is shown with o in Figure 2, by combining current and previous information. In Figure 2, h_t stands for hidden state at time-step t which is an RNN block that combines the current input with the hidden state of the previous time-step. A non-linear activation function is applied to the hidden state to model non-linear dependencies. The parameters of the network are the weights between input and hidden states, W , the weights between previous and current hidden states, U , and the weights

between the hidden state and output, V , as seen in Figure 2. In the stock prediction problem, the current stock price, price at time t , highly depends on the previous information represented by the stock prices at time $t-1, t-2, \dots, t-k$ where k represents the length of the previous data that is used for prediction. For such problems, feedforward networks may not produce satisfactory results since they do not take the sequential information into account while building the model. Therefore, we use RNNs to build our stock prediction model.

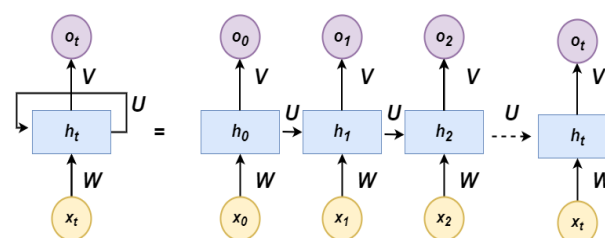


Figure 2. Structure of a traditional Recurrent Neural Networks

In theory, RNNs can handle long-term relations in the data. However, it is known that they fail to model dependencies when backpropagating errors across many time steps [23-25]. The related problems are

known as vanishing and exploiting gradient problems. To deal with this problem, the units in RNNs have been replaced with some different structures, called memory cell, and an architecture called Long Short-Term Memory-RNNs (LSTM-RNN) [23] has been developed to handle long-term dependencies in sequential learning problems. Each memory cell in an LSTM-RNN has three gates each one dedicated to a particular task. These gates are used to decide how much of the latest content should be stored, how much of the existing memory should be forgotten, and what the next hidden state should be [23].

4.3. Proposed Prediction System

The steps of the stock prediction system built in this study are shown in Figure 3. As seen, the inputs of the model consist of sentiment labels, stock prices and values of technical indicators. For the sentiment analysis part, we use manually labeled 500 samples to build a sentiment classification model as described in Section 4.1. We use 10-fold cross-validation to optimize the hyper-parameters of the FastText tool. We also present the sentiment classification accuracies in Section 5.2. The obtained final model is applied to the remaining unlabeled news and sentiment labels for all news are obtained.

As seen in Figure 3, the obtained sentiment labels are combined with stock prices and technical indicators and the combined data is used to predict a numerical output which is the next day's closing price. Then, the difference between the predicted value at time t and observed value at time $t-1$ is used to decide whether the stock price will be up or down next day.

V. EXPERIMENTS

5.1. Experimental Setup

We have 1892 rows of dataset covering the Istanbul stock exchange data between 06.10.2010 and 01.06.2018. Each row represents one day's stock market attributes. We used the first 1659 days for training and validation and the last 233 days corresponding to the last year for testing. The left-out test set has not been used during training or model selection but only used to evaluate the generalization ability of the model on future examples.

There are various evaluation metrics used to assess the success of machine learning models. Since the first step of our model is to build a regression model that predicts the next day's closing price, we present the actual and predicted values for the test period to evaluate to what extent the actual price can be predicted from the related input. Then, we convert the predicted value to a binary variable indicating whether the movement of the stock price was up or down using the rule given in Section 4.3 and evaluate the results using precision, recall, F1 score, and Matthew's correlation coefficient metrics. We build the prediction model both with and without sentiment labels to evaluate the contribution of the

sentiment analysis in the stock movement prediction task.

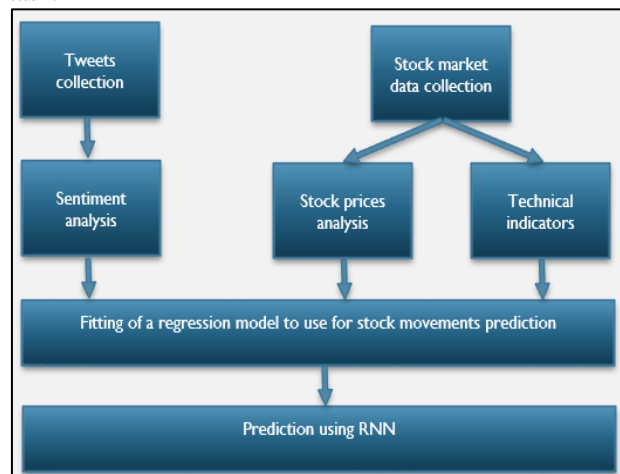


Figure 3. Stock price movement prediction architecture

5.2. Experimental Results

5.2.1. Text classification results

FastText has many hyper-parameters which can be optimized on the training set. We used a grid-search procedure to optimize the related parameters and obtained the best results for the following values: 2 for minn, 4 for maxn, 4, 2 for wordNgrams, for epoch, 25, and 1000 for bucket. Overall, the best model gives an accuracy of 98% on the training set and 90.0% on the validation set. Both precision and recall of the best model have been obtained as 0.90 on the validation set. We then applied the best model to the remaining 54,841 news and obtained the probability estimates of each sentiment label. Figure 4 shows the distribution of the negative and positive news labeled by the text classification model in the related period. As it is seen in Figure 4, the number of news increases in time with the wider use of online platforms and social media. As a result of sentiment analysis, 7118 news in the related period were marked as negative, 9548 news positive and 38675 news labeled as neutral summing up to 55,341 news including also manually labeled 500 news.

5.2.2. Stock price prediction using price data

Table 2 shows the behavior of root mean squared errors under different epochs of the LSTM-RNN trained with only the historical stock price data. The results show that RMSE decreases up to a point and gets its minimum value at around 200 epochs. After this point, the learning process has become stable and increasing of number of epochs no longer helps to generalize better on the validation set. It takes around 15 minutes to train the network for 200 epochs. The optimal timestep of the LSTM-RNN model has been found as 7. Thus, the next day's stock price prediction has been generated using the previous 7 trading day's historical stock prices. The LSTM-RNN architecture contains two LSTM layers with 60 LSTM cells in each. We used root mean squared prop (RMSprop) as the optimization algorithm [26].

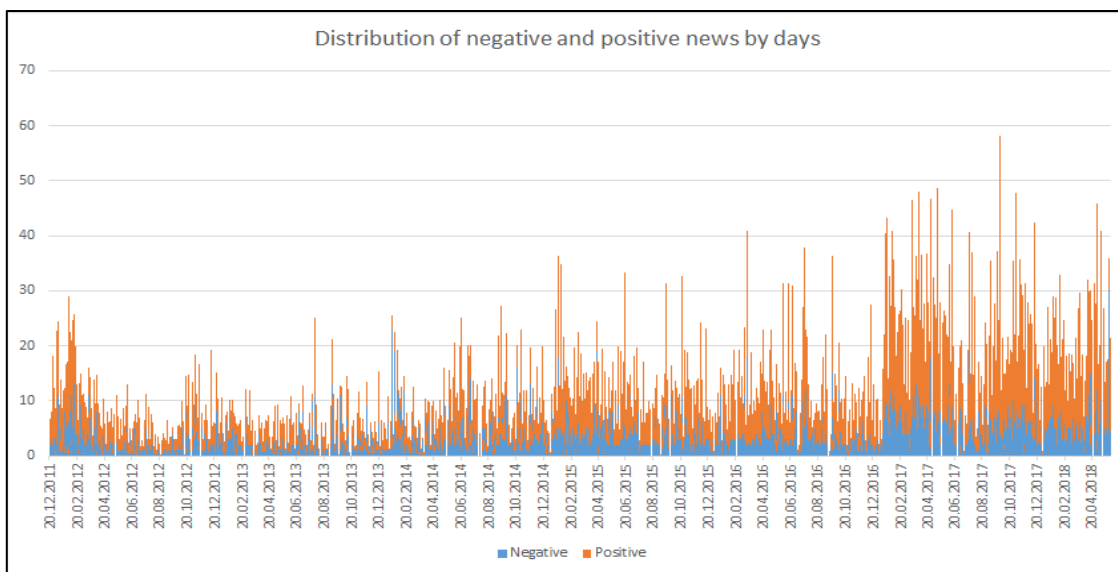


Figure 4. Distribution of negative and positive news by days

Table 2. RMSE on the validation set with respect to increasing number of epochs

# of epochs	RMSE on Validation Set	Duration
16	0.002474	00:01:22
32	0.001028	00:02:17
64	0.0007549	00:04:44
72	0.0007589	00:05:04
100	0.0005417	00:07:18
124	0.0006015	00:08:54
170	0.0005116	00:12:42
200	0.0005211	00:15:40
234	0.0005775	00:16:41
400	0.0005213	00:28:52

5.2.3. Combining multiple datasets

We constituted two different combined datasets to evaluate the contribution of integrating sentiment analysis into the prediction model. The first dataset consists of 13 features representing the historical stock prices and values of technical indicators. In the second dataset, as given in Section 4.1, there are 6 additional features extracted from the sentiment analysis of the related news belonging to the same time period. We

gave both datasets to LSTM-RNN as input to predict the next day’s stock price movement.

Figure 5 shows the predicted and actual prices obtained with the combined datasets for the test data which consists of the last year’s trading days. As it is seen in Figure 5, the second model that is constructed using sentiment analysis along with the stock prices and technical indicators fits better to the actual data points than the first model constructed without sentiment analysis. It is also seen from the circled parts of the input space, especially when there is a high volatility in the stock prices, sentiment analysis helps the model to adapt to the sudden changes in the prices.

Table 3 shows the results obtained by feeding combined dataset as input to LSTM-RNN. We should note that the number of class 1 (up) and class 0 (down) is 120 and 113, respectively, on the test set. In addition to the two models obtained with and without sentiment information, we built another model that uses only stock prices and two of the technical indicators, RSI14 and MA10, to test whether using all technical indicators as input helps LSTM-RNN to model dependencies better. The obtained results seen in Table 3 showed that Model 2, which was built using all technical indicators, gave better performance than Model 1 that uses only two of the technical indicators.

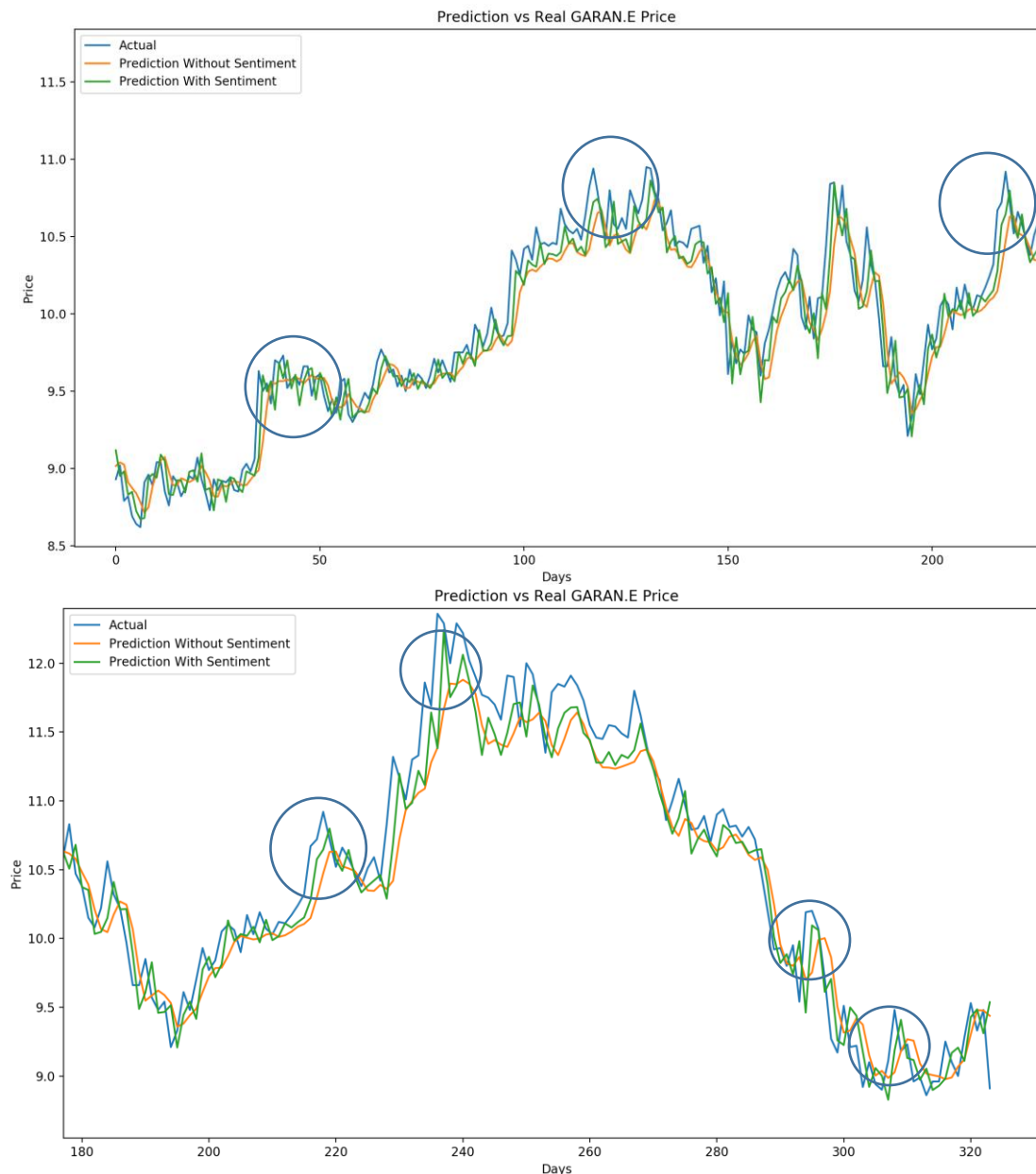


Figure 5. Actual stock prices and predictions with and without sentiment analysis for (top) first half (bottom) second half of the test year period

As seen in Table 3, while F1 score of Model 2 was 0.55, it has increased to 0.65 in Model 3, in which sentiment analysis label information is integrated into the input. Model 2 gives 71 true positive movements and 59 true negative movements on the test data whereas Model 3 achieved 83 true positive movements and 70 true negative movements. It is also seen that Matthews correlation Coefficient (MCC) of the model using stock price, technical indicators, and sentiment information together is higher than that of the model using only stock price and technical indicators. The results indicate that the financial news includes important information about the direction of the stock and integrating this information with the help of sentiment analysis into the model with data level fusion increases the success of the model in predicting both up and down

price movements. We have also trained the best model, Model 3 shown in Table 3, with changing number of training samples to see the effect of training set size in the model performance. For this purpose, we used the same cross-validation methodology and showed F1 score of the model with respect to the number of yearly data in Figure 6. We should note that, to generate this figure, to keep the sequential information during the learning process we have always used 8th year data as test set and used last n years for training where n is increased from 1 to 7. As it is seen in Figure 6, in general there is an increasing trend in F1 score with increasing number of trading days used for training. The highest average F1 score with 0.65 was obtained using last 6 or 7 years for training.

Table 3. Results obtained using technical indicators and sentiment analysis as input for LSTM-RNN model

Model		Recall	Precision	F1 score	MCC
Model 1 Stock Price + RSI14 and MA10	1 (Up)	0.55	0.56	0.55	0.06
	0 (Down)	0.51	0.51	0.51	-0.04
	Average/Total	0.53	0.53	0.53	-
Model 2 Stock Price + All Technical Indicators	1 (Up)	0.57	0.59	0.57	0.13
	0 (Down)	0.55	0.52	0.53	-0.01
	Average/Total	0.56	0.56	0.55	-
Model 3 Stock Price + All Technical Indicators + Sentiment Analysis	1 (Up)	0.66	0.69	0.67	0.34
	0 (Down)	0.65	0.62	0.63	0.20
	Average/Total	0.65	0.66	0.65	0.27

**Figure 6.** Average F1 score of the model built using stock prices and sentiment labels with respect to increasing training set size

VI. CONCLUSIONS

The number of investors wishing to utilize their savings in the stock market is rapidly growing day by day. Therefore, recently there is an increasing interest in building stock prediction models using machine learning techniques. The researchers also integrate different data sources into the stock price estimation model to improve the accuracy of the models.

The main goal of this study was to assess the effect of using financial news as an additional data source on the success of the stock price-based estimation models. For this purpose, we used Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network (LSTM-RNN) to estimate the next day's closing stock price. We collected a news dataset in Turkish language and assigned a sentiment label to each of the news using sentiment analysis tools. Then, the output of the sentiment analysis model was given to the regression model together with the stock price-based features to predict the future price of a stock from Istanbul Stock Exchange. The results of this regression model showed that, even with sentiment analysis inputs, estimating the exact future price of a stock is a difficult task due to the inherent chaotic nature of market or lack of some other important hidden factors that are not included in our dataset. Therefore,

we modelled the estimation problem as a binary classification problem and aimed to predict the movement direction of the stock price, i.e. whether the closing price of the stock next day will be higher than today's price. The results showed that classifying economic and political news as positive, negative, or neutral and integrating these values to the model as new inputs increases the success of the stock price movement prediction. The F1 score of the LSTM-RNN model built by using stock prices and technical indicators was measured as 0.56 on test set. When we use sentiment analysis labels of the news as additional inputs, the F1 score of the model increased to 0.65. The obtained results also showed that the performance of the prediction model increases with increasing number of trading days used for training.

Our results showed that with the sentiment analysis information the actual price is predicted better especially when there is a high volatility in the stock price. Based on this finding, as a future work, the proposed model can be used to predict the prices of the stocks with higher volatility. As another future direction, in addition to financial and political news, the reviews and comments of the users in social media platforms can be analyzed and integrated to the model. In this study, we aimed to perform a daily prediction model. In order to build a model that can make shorter-term predictions, the characteristics of an order book may be combined with the inputs used in this study. The analysis of the ITCH market data feed and the information such as the quantity, size, count, side and frequency of orders in every order book level on a specific stock may give us more accurate results for short-term estimation of stock price movement.

REFERENCES

- [1] Henrique, B. M., Sobreiro, V. A., & Kimura, H. (2019). Literature review: Machine learning techniques applied to financial market prediction. *Expert Systems with Applications*, 124, 226-251.
- [2] Gandhmal, D. P., & Kumar, K. (2019). Systematic analysis and review of stock market prediction techniques. *Computer Science Review*, 34, 100190.
- [3] Akita, R., Yoshihara, A., Matsubara, T., & Uehara,

- K. (2016, June). Deep learning for stock prediction using numerical and textual information. In *2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [4] Chong, E., Han, C., & Park, F. C. (2017). Deep learning networks for stock market analysis and prediction: Methodology, data representations, and case studies. *Expert Systems with Applications*, 83, 187-205.
- [5] Yoshihara, A., Fujikawa, K., Seki, K., & Uehara, K. (2014, December). Predicting stock market trends by recurrent deep neural networks. In *Pacific rim international conference on artificial intelligence* (pp. 759-769). Springer, Cham.
- [6] Nguyen, T. H., Shirai, K., & Velcin, J. (2015). Sentiment analysis on social media for stock movement prediction. *Expert Systems with Applications*, 42(24), 9603-9611.
- [7] Vargas, M. R., De Lima, B. S., & Evsukoff, A. G. (2017). Deep learning for stock market prediction from financial news articles. In *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)* (pp. 60-65). IEEE.
- [8] Pagolu, V. S., Reddy, K. N., Panda, G., & Majhi, B. (2016, October). Sentiment analysis of Twitter data for predicting stock market movements. In *2016 international conference on signal processing, communication, power and embedded system (SCOPEs)* (pp. 1345-1350). IEEE.
- [9] Liu, Y., Qin, Z., Li, P., & Wan, T. (2017). Stock volatility prediction using recurrent neural networks with sentiment analysis. In *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems* (pp. 192-201). Springer, Cham.
- [10] Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2017). Enriching word vectors with subword information. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 5, 135-146.
- [11] Hövelmann, L., Allee, S., & Friedrich, C. M. (2017). Fasttext and gradient boosted trees at GermEval-2017 on relevance classification and document-level polarity. In *Proceedings of the GermEval 2017 - Shared Task on Aspect-based Sentiment in Social Media Customer Feedback*, (pp. 30-35).
- [12] Lin, J. W., Gao, Y. C., & Chang, R. G. (2019, February). Chinese Story Generation with FastText Transformer Network. In *2019 International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIC)* (pp. 395-398). IEEE.
- [13] Santos, I., Nedjah, N., & de Macedo Mourelle, L. (2017). Sentiment analysis using convolutional neural network with fastText embeddings. In *2017 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence (LA-CCI)* (pp. 1-5). IEEE
- [14] Kuyumcu, B., Aksakalli, C., & Delil, S. (2019). An automated new approach in fast text classification (fastText) A case study for Turkish text classification without pre-processing. In *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Natural Language Processing and Information Retrieval* (pp. 1-4).
- [15] Uygur, U., & Taş, O. (2014). The impacts of investor sentiment on different economic sectors: evidence from Istanbul stock exchange. *Borsa Istanbul Review*, 14(4), 236-241.
- [16] Canbaş, S., & Kandır, S. Y. (2009). Investor sentiment and stock returns: Evidence from Turkey. *Emerging Markets Finance and Trade*, 45(4), 36-52.
- [17] Li, J., Bu, H., & Wu, J. (2017). Sentiment-aware stock market prediction: A deep learning method. In *2017 international conference on service systems and service management* (pp. 1-6). IEEE.
- [18] Zhuge, Q., Xu, L., & Zhang, G. (2017). LSTM Neural Network with Emotional Analysis for prediction of stock price. *Engineering letters*, 25(2).
- [19] Day, M. Y., & Lee, C. C. (2016). Deep learning for financial sentiment analysis on finance news providers. In *2016 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)* (pp. 1127-1134). IEEE.
- [20] Weng, B., Ahmed, M. A., & Megahed, F. M. (2017). Stock market one-day ahead movement prediction using disparate data sources. *Expert Systems with Applications*, 79, 153-163.
- [21] Wilder, J. W. (1978). New concepts in technical trading systems. Trend Research.
- [22] Mikolov, T., Grave, E., Bojanowski, P., Puhersch, C., & Joulin, A. (2017). Advances in pre-training distributed word representations. *arXiv preprint arXiv:1712.09405*.
- [23] Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- [24] Bengio, Y., Simard, P., & Frasconi, P. (1994). Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult. *IEEE transactions on neural networks*, 5(2), 157-166.
- [25] Hochreiter, S., Bengio, Y., Frasconi, P., and Schmidhuber, J. (2011a). Gradient flow in recurrent nets: the difficulty of learning long-term dependencies, In Kremer, S. C. and Kolen, J. F., editors, *A Field Guide to Dynamical Recurrent Neural Networks*. IEEE Press.
- [26] Ruder, S. (2016). An overview of gradient descent optimization algorithms. *arXiv preprint arXiv:1609.04747*.

Süper Piksel Tabanlı Otomatik Kanlı Bölge Tespit Sistemi

Super Pixel Based Automatic Bloody Region Detection System

Ömer Faruk DURSUN¹ , H. İrem TÜRKMEN^{1*} 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler/İstanbul

Öz

İnternet kullanımının gittikçe yaygınlaşması daha fazla insanın şiddet ve korku barındıran içeriğe erişme riskini arttırmıştır. Bu durum internet üzerindeki içeriğin diğer medya araçlarına göre daha az denetlenmesi ile birleştiğinde, bu tip içeriğe karşı hassas olan kişiler ve özellikle çocuklar için önlemler alınması gereği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada, her bir süper pikselden çıkartılmış renk ve doku özellikleri kullanarak görüntülerde kan içeren bölgelerin tespitini yapabilecek süper piksel tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle kan görüntüsü içeren ve içermeyen fotoğraflardan oluşan bir veri seti hazırlanmış ve bu veri setindeki resimlere süper piksel bölütleme metodu uygulanarak, renk ve doku özellikleri bakımından benzer olan anlamlı parçaların elde edilmesi amaçlanmıştır. Sistemin başarısına süper piksel sayısının etkisinin ölçülmesi amacı ile, bölütleme algoritmasının oluşturacağı süper piksel sayısı üç farklı üst sınır ile denenmiştir. Bölütleme algoritmasından elde edilen parçalardan renk ve doku özellikleri çıkartılmış ve destek vektör makinesi (DVM) yardımı ile kanlı bölge tespiti yapabilecek modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin başarıları karşılaştırmak amacı ile çeşitli çekirdek fonksiyonları denenmiştir. Önerilen sistemde ortalama %97 doğruluk elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomatik Kanlı Bölge Tespiti, Süper Piksel Bölütlemesi, Renk Özellikleri, Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi, Destek Vektör Makinesi.

Abstract

The widespread use of the Internet has increased the risk of more people accessing content that may contain violence. When this situation is combined with the fact that the web is less inspected compared to other media tools, it has become necessary to take precautions for people who are sensitive to this type of content and especially for children. In this study, we propose a super pixel-based method for detecting bloody regions on images, using color and texture features extracted from individual super pixels. We first collected a data set consisting of images with and without bloody regions and applied super pixel segmentation to the images in the data set to obtain meaningful segments that are similar in terms of color and texture features. The number of super pixels created by the segmentation algorithm has been tested with three different upper limits in order to measure the effect of the numbers of super pixels on the success of the system. We extracted color and texture information from the segments obtained by segmentation algorithm, and constructed bloody region detection models exploiting Support Vector Machine (SVM) classifier. We used various kernel methods to test the effectiveness of the constructed models. The proposed system achieved an accuracy rate of 97%.

Keywords: Automatic Bloody Region Detection, Super Pixels Segmentation, Color Features, Gray Level Cooccurrence Matrix, Support Vector Machine.

I. GİRİŞ

Tüm dünyada ve ülkemizde internet kullanımı sürekli artmaktadır. Son yıllarda internet kullanım yaşı düşmekte ve çevrimiçi çocuk sayısı artmaktadır. Bununla birlikte internetin diğer medya türlerine göre daha az denetim altında olması bazı sorunları beraberinde getirmektedir. İnternet üzerindeki uygunsuz görüntüler kullanıcıları ve özellikle çocukları olumsuz etkilemektedir.

Dijital görüntü işleme yöntemleri kullanılarak sakıncalı görüntülerin tespiti üzerine yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. W.Hu ve arkadaşları pornografik görüntülerin tespiti için öne sürülen yama bazlı (patchbased) ten rengi tanıma algoritması kullanmışlardır [1]. Lopes ve arkadaşları Bag-of-Features yöntemini kullanarak çıplaklık içeren görüntülerin tespiti üzerine çalışmışlardır [2]. BOF yönteminde görüntüler görsel tanımlayıcıların histogramları şeklinde ifade edilmiştir. Çalışmada daha öncesinde sadece gri seviye bilgiye sahip görsel tanımlayıcılara renk özelliklerinin de eklenmesi sağlamak için Ölçekten Bağımsız Öznitelik Dönüşümü (ÖBÖD, Scale Invariant Feature Transform-SIFT) tanımlayıcısının bir uzantısı olan renk ÖBÖD (hue SIFT) tanımlayıcılarını kullanmışlardır.

R.Guermazi ve arkadaşları, şiddet içeren görüntülerin tespitinde renk açıklayıcıları ve sınıflandırıcı kombinasyonlarına odaklanmışlardır. Çalışmaları sonucunda MPEG7 renk açıklayıcılarını öne sürmüşlerdir [3].

Durağan görüntülerde şiddet içeriğinin bulunup bulunmadığının tespiti için yapılmış başka bir çalışmada Kelime Çantası (Bag-of-Words) yöntemini kullanmışlardır [4]. Kelime Çantası yöntemi bir görüntüyü özellikler ve bunların ortaya çıkma sıklığı şeklinde ifade eder. Li ve arkadaşları tarafından web üzerindeki korku ve şiddet içerikli görüntülerin tespiti amacı ile geliştirilen çalışmada bağlam-bilinçli çoklu örnek öğrenme algoritması (context-aware multi instance learning) kullanılmıştır [5]. Çalışmalarında geleneksel çoklu öğrenme algoritmasını, örnekler arasındaki bağlamsal ilişkileri temsil eden yönsüz bir graf kullanarak geliştirmiş ve böylece bağlam-bilinçli çoklu öğrenme algoritması sunmuşlardır.

Nievas ve arkadaşları ulusal hokey ligi maç videolarında oluşan verisetleri üzerinde şiddet içerikli çerçeveleri tespit edebilmek için Uzamsal-zamansal ilgi noktaları (Space-Time Interest Points - STIP) ve Hareketli Ölçekten bağımsız öznelik dönüşümünden yararlanarak (Motion - Scale invariant feature transform - MoSIFT) özellik çıkarmışlar ve sınıflandırma için DVM kullanmışlardır [6].

2018 yılında yapılan bir çalışmada güvenlik kameralarından gelen görüntülerin düşük seviyeli özelliklerini çıkarmak için Yerel Yönlü Gradyan Histogramı (Local Histogram of Oriented Gradient - LHOG) ve Optik Akı Yön Histogramı (Local Histogram of Optical Flow - LHOF) tabanlı betimleyiciler kullanılmış ve şiddet içeren görüntüler DVM tabanlı bir model ile sınıflandırılmıştır [7].

Şiddet içerikli video görüntülerinin analizi hakkında yapılan çalışmalardan biri Ullah ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır [8]. Önerilen sistemde diğer çalışmalardan farklı olarak videonun tamamını işlemek yerine, ilk önce insan içeren çerçeveler tespit edilmiş, ardından bu çerçeveler Evrişimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks) kullanılarak şiddet içeren ve içermeyen olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Araştırmacılar önerdikleri sistemi hokey ligi maç videoları [6], 246 youtube videosundan oluşan Violent Crowd veri seti [9] ve kavga sahneleri içeren film görüntüleri [6] üzerinde denemişler ve ortalama %97 doğruluk oranı ile şiddet içerikli sahneleri tespit ettiklerini kaydetmişlerdir.

Video görüntülerde şiddet içeriği tespitine yönelik en son çalışmalardan biri Peixoto ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [10]. Bu çalışmada videolar içinde kan, silah, patlama ve yangının da olduğu yedi kategoride değerlendirilerek şiddet içeren ve içermeyen olarak sınıflandırılmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında özellikle derin öğrenme mimarilerinin kullanılması ile şiddet içerikli görüntülerin tespitinde oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir. Bu çalışmalar temel olarak videolardaki hareket özelliklerinden yararlanmaktadır. Ancak hareketlilik göstermediği halde özellikle kan içeren görüntüler yüksek oranda şiddet içerebilmektedirler. Bu sebeple kanlı görüntülerin tespiti ve kanlı bölgenin bölütlenerek otomatik olarak filtrelenmesi üzerinde durulması gereken başka bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır ve kendine has bazı zorluklar içermektedir. Kanın yayılma şekli ve görüntü içerisinde kapladığı alan görüntüden görüntüye önemli farklılar arz etmektedir. Kan olmayan kırmızı renkli bölgelerin kanlı bölgeler ile karıştırılması oldukça olasıdır. Literatürde kanlı bölgelerin tespiti ve bölütlenmesi üzerine yapılmış çok az çalışma bulunmaktadır. Kan içeren bölgelerin bulunması için başvurulan yaklaşımlardan biri piksel bazlı modeller kullanmaktır. Fakat kan görüntüsünün bazı özellikleri, doku gibi, bölgeye dayalı bir yaklaşım ile kullanılabilir duruma gelmektedir.

Tıbbi amaçlarla çeşitli tıbbi görüntüleme cihazları ile alınmış görüntülerde kanama ve kan damarı bulma çalışmaları [11] ve adli bilimlere yönelik kan lekesi analiz etme çalışmaları bulunmakla birlikte [12], şiddet tespitine yönelik olarak multimedia kaynaklardan alınmış görüntüler üzerinde kanlı bölgelerin bölütlenmesine ait çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan en güncel ve yüksek başarıyla olanı Yan Gao ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [13]. Bu çalışmada görüntüler üzerinde bölgeye dayalı (region based) kan rengi tespiti üzerine çalışılmıştır. Görüntüden özelliklerin çıkarılması sırasında sabit boyutlu, 16x16 boyutundaki bir pencere resim üzerinde gezdirilerek her bir alandan renk ve doku özellikleri çıkartılmıştır. Bu özelliklerin sınıflandırılmasında DVM algoritmasından yararlanılmıştır.

Bu çalışmada girdi olarak verilen resim dosyalarındaki kanlı kısımları otomatik olarak tespit ederek filtreleyen, bölge tabanlı bir sistem tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Ancak kanlı bölgeler düzgün bir geometrik şekle sahip alanlar değildir. Bu sebep ile sistemde resmin bölütlenmesi sırasında, kanın yayılma şekli ile uyumlu ve doğal bölgeler elde etmek amacı ile diğer çalışmalardan farklı olarak süper piksel yöntemi kullanılmıştır. Süper piksel bölütleme algoritmasının kullanılması ile kan bölgesi gibi düzgün bir geometrik şekle sahip olmayan alanların sınırlarının bulunmasında ve incelenmesinde daha yüksek başarıya ulaşılması hedeflenmiştir.

Oluşturulan süper piksellerden çıkarılan özelliklerin sınıflandırılmasında DVM algoritması kullanılmıştır. “Süper piksel ile Kanlı Bölgelerin Tespiti” ve “Sistem Arayüzü” bölümlerinde sırasıyla önerilen sistemin

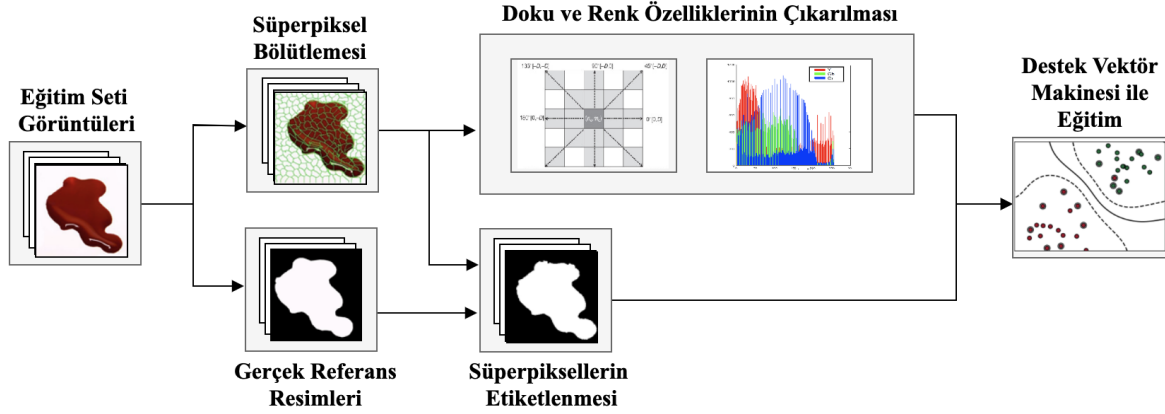
detayları verilmiş ve gerçekleştirilen kullanıcı arayüzü anlatılmıştır. “DeneySEL Sonuçlar” kısmında süper piksel sayısı, çekirdek fonksiyonu gibi parametrelerin sonuçlara etkisi incelenmiş, sistemin genel performansının karşılaştırmalı analizine yer verilmiştir.

II. SÜPER PİKSEL İLE KANLI BÖLGELERİN TESPİTİ

Önerilen süper piksel tabanlı kanlı bölge tespit sisteminin eğitimi aşaması, eğitim kümesindeki resimlerin süper piksel algoritması ile bölütlenmesi ile başlamaktadır. Elde edilen süper pikseller, el ile

oluşturulmuş gerçek referans resimleri ile birlikte değerlendirilerek kan içeren ve içermeyen süper pikseller olarak işaretlenmiştir. Ardından her bir süper pikselin kendi içerisinde renk ve doku olmak üzere iki ana grup özelliği çıkartılmıştır. Elde edilen özellik vektörleri, etiket bilgileri ile birlikte kullanılarak DVM ile eğitim modeli oluşturulmuştur. Eğitim aşamasına ait blok diyagram Şekil 1’de görülmektedir.

Test edilecek resim sırasıyla süper piksel bölütlemesi ve özellik çıkarma aşamalarından geçerek DVM’ye aktarılmakta ve kanlı bölge içeren süper pikseller filtrelenmektedir.



Şekil 1. Süper piksel tabanlı kanlı bölge tespit sisteminin eğitimi aşaması

2.1. Veri Setinin Oluşturulması

Literatürde kanlı bölgelerin işaretlenmiş olduğu açık bir veri seti bulunmamaktadır. Bu sebeple kanlı bölge bölütlemesi yapan az sayıda çalışmada da yazarlar kendi oluşturdukları veri setlerini kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan veri seti, içerisinde şiddet içerikli film sahnelerinin bulunduğu Violent Scenes Dataset [6]’ten alınan düşük, orta ve yüksek miktarda kan içeren sahnelerden ve hiç kan barındırmayan görüntülerden oluşan 160 adet fotoğraf içermektedir.

Veri setindeki fotoğraflarda kan içeren bölgeler el ile işaretlenmiştir. Fotoğrafların çözünürlükleri 500*334 ile 1200*1080 arasında değişmektedir.

Veritabanında bulunan ve kan görüntüsü içeren örnekler Şekil 2’de ilk satırda verilmiştir. Orijinal görüntü üzerinde el ile işaretleme yapılarak elde edilen gerçek referans resimleri ise ikinci satırda yer almaktadır. Kan içeren bölgeler beyaz renk ile işaretlenmiştir.



Şekil 2. Veri setinden kan görüntüsü içeren örnekler ve kan içeren bölgelerin el ile işaretlenmesi ile elde edilen gerçek referans resimleri



Şekil 3. Veri setinden kan görüntüsü içermeyen örnekler

2.2. Süper Piksel Bölütlemesi

Dijital görüntü işlemede bir görüntü yansıyan ışığın ayrık olarak örneklenmesinin sonucudur. h yüksekliğine ve w genişliğine sahip bir I görüntüsü ayrık ve $i \in H = \{1, \dots, h\}$ ile $j \in w = \{1, \dots, w\}$ aralığındaki P_{ij} pikselleri üzerinde, c adet kanala ve her kanalın D değer kümesine sahip olduğu $I = W \times H \rightarrow D^c$ şeklindeki bir vektör fonksiyonudur. Verilen bir P piksel kümesine sahip I görüntüsünün $S = \{S_1, \dots, S_m\}$ olacak şekilde ayrık alt kümelere ayrılması resim bölütleme olarak isimlendirilir [14].

Var olan pek çok bilgisayarla görme algoritması, resim üzerindeki objelerin aranması için obje tespit pencereleri (detection windows) kullanmaktadır [15]. Fakat tespit pencereleri doğal bir gösterim şekli değildir. Düşük seviye gruplama kullanılarak elde edilen anlamlı parçalar ile çalışmak daha doğal ve daha etkili olacaktır.

Alan bölütlemesindeki genel yaklaşımlar yoğunluk eşliğine dayalıdır ve homojen nesnelere bulunduğu görüntülerde iyi sonuçlar üretirler. Fakat birçok görüntü gürültü, doku, parazit, yankı içerir ve bunların herbiri alan bölütlemesi uygulamalarının etkinliğini azaltır. Homojen olmayan nesnelere bulunduğu görüntülere yoğunluk eşliğine dayalı tekniklerin uygulanması bölütlemenin çok yüzeysel veya çok detaylı olması ile sonuçlanabilir. Bu iki sonuç sırası ile az bölütleme (under segmentation) ve fazla bölütleme (over segmentation) olarak adlandırılır. Fazla bölütleme önemli sınırların elde edilmesi şansını artırırken bunun yanında birçok önemsiz sınır oluşturma riskini de artırır.

Süper piksel bölütlenmesi bir görüntünün fazla bölütlenmesi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyiş ile piksellerin anlamlı bir biçimde gruplanmasıdır. Nesnelere karşılık gelen birkaç adet ön plan bölgesinin bulunması yerine süper piksel algoritmaları görüntüyü genellikle 25 ile 2500 adet bölgeye ayırırlar. Bu fazla bölütlemenin amacı görüntüyü hiçbir süper pikselin bir nesne sınırı tarafından kesilmeyecek şekilde bölmektir. Fakat bir nesne birden çok süper piksele bölünmüş olabilir. Bu şekilde nesnelere sınırları oluşturulan süper piksel sınırları kullanılarak elde edilebilecektir. Bu çalışmada elde edilen süper pikseller SEEDS algoritması ile oluşturulmuştur [16]. Süper piksel bölütlemesi SEEDS yönteminde bir enerji maksimizasyonu problemi olarak ele alınmıştır. N

resimdeki piksel sayısı, K istenilen süper piksel sayısı olarak kabul edilirse resme uygulanacak süper piksel bölütlemesi **Eşitlik (1)**'deki gibi ifade edilebilir.

$$s: \{1, \dots, N\} \rightarrow \{1, \dots, K\} \quad (1)$$

$s(i)$, i pikselinin bulunduğu süper pikseli gösterir. k süper pikselinde bulunan tüm pikseller A_k , **Eşitlik (2)** ile gösterilir.

$$A_k = \{i: s(i) = k\} \quad (2)$$

Geçerli bir süper piksel, uzamsal olarak bağlantılı pikseller içeren bir öbek şeklinde olmalıdır. S geçerli süper piksellerin oluşturduğu bölütlemeler kümesi, \bar{S} geçersiz süper piksellerin oluşturduğu bölütlemeler kümesi ve C olası tüm bölütlemelerin toplam kümesi olarak tanımlanırsa, süper piksel probleminin hedefi $s \in S$ olan ve belirli bir fonksiyonu maksimize eden s bölütlemesini bulmaktır. Bu belirli fonksiyon bu durumda enerji fonksiyonudur. Enerji fonksiyonu $E(s, I)$ şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadede I girdi resim dosyasını göstermektedir.

Enerji fonksiyonunun I parametresine bağımlılığı notasyon kolaylığı sağlaması için göz ardı edilirse, enerji fonksiyonunu maksimize eden s^* bölütlemesi **Eşitlik (3)** ile gösterilir.

$$s^* = \operatorname{argmax} E(s) \quad (3)$$

Optimize edilmesi gereken enerji fonksiyonu $E(s)$, **Eşitlik (4)**'deki gibi ifade edilir.

$$E(s) = H(s) + \gamma G(s) \quad (4)$$

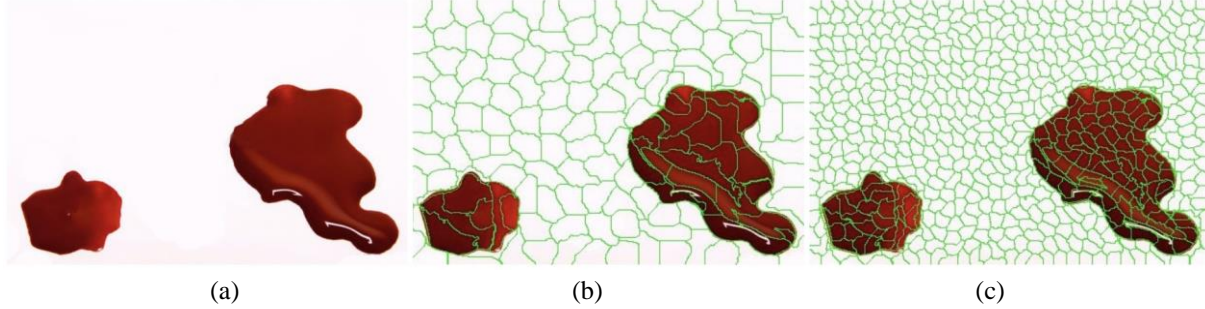
Bu denklemde γ terimlerin etki ağırlıklarını göstermek üzere $H(s)$ süper pikselin renk dağılımını değerlendirirken, $G(s)$ ise süper pikselin şeklini belirler.

Optimum süper piksel bölütlemesine ulaşmak için tepe tırmanma algoritması kullanılmıştır. Tepe tırmanma algoritması her bir iterasyonda küçük yerel değişimler uygulayarak çözümü güncelleyen bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu örnekte önerilen bölütlemenin enerji fonksiyonu artar ise çözüm güncellenir.

Tepe tırmanışı algoritmasında global optimum çözüm olan s^* ulaşmak için iyi bir başlangıç bölütlenmesi

belirlenmesi önemlidir. SEEDS algoritmasında ilk bölütleme olarak eşit büyüklükte düzgün parçalar kullanılmaktadır. Şekil 5a'da verilen görüntü için 600

ve 900 süper piksel bölütlemesi sonuçları sırasıyla Şekil 5b ve c'de görülmektedir.



Şekil 5. a) Kan görüntüsü b) 600 c) 900 süper piksel üst sınırı için oluşturulan bölütleme sonuçları

2.3. Özelliklerin Çıkarılması

Kanlı bölgelerin tespit edilmesinde bu bölgelere ait renk ve doku özelliklerinden yararlanılmıştır.

2.3.1. Renk özelliklerinin çıkarılması

Renk özelliklerin çıkarılması sırasında süper pikseli oluşturan tüm piksellerin renk değerleri RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüştürülmüştür. YCbCr renk uzayında Y değeri siyah-beyaz, Cb mavi ve Cr kırmızı renk bilgilerini temsil etmektedir. Daha sonra bu piksellerin her bir bileşeni için ortalama, standard sapma ve varyans değerleri hesaplanmıştır.

2.3.2. Doku özelliklerinin çıkarılması

Doku özelliklerinin çıkarılması sırasında Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GSEOM) yöntemi kullanılmıştır [17]. GSEOM yöntemi iki piksel arasındaki komşuluk ilişkisini inceler. Piksellerden bir tanesi referans diğeri ise komşu olarak isimlendirilir. Belirli bir yönde (sağ, sol, yukarı veya aşağı) belirli bir ikilinin kaç kez ortaya çıktığı bir tabloda kayıt altına alınır.

GSEOM'nin belirli özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bunlar;

1. Matris kare şeklinde olmalıdır. Referans pikseli ve komşu piksel aynı değer aralığında olduğu için matrisin satır ve sütun sayıları aynı olmalıdır.
2. Matrisin satır ve sütun sayısı görüntünün kuantalama (quantization) seviyesi ile aynı sayıda olmalıdır.
3. Matris köşegenine göre simetrik olmalıdır.

GSEOM'den doku ölçülerinin çıkarılması için son olarak matrisin normalizasyonu gereklidir. q , görüntünün kuantalama seviyesi ve $N=q*q$ olmak üzere elde edilen N boyutundaki GSEOM V ile gösterilmişken, normalize edilmiş GSEOM P , Eşitlik (5) ile elde edilir.

$$P_{i,j} = \frac{V_{i,j}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} V_{i,j}} \quad (5)$$

Normalize edilmiş simetrik GSEOM'yi işe yarar şekilde özetlemek amacı ile doku ölçüleri hesaplanır. Birçok doku ölçüsü matrisin çeşitli şekillerde ağırlıklı ortalamasının alınması şeklinde elde edilir.

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} |i,j|^2 \quad (6)$$

Kontrast ölçüsü Eşitlik (6) ile hesaplanır. Formülde verilen i ve j değerleri matrisin satır ve sütunlarının indeks değerleri, N belirlenen matris boyutu olmak üzere, i ve j değerleri birbirlerine eşitken seçilen hücre, matrisin köşegeni üzerindedir. Hiçbir kontrast oluşturmadıkları için kontrast ağırlıkları sıfırdır. Kontrast, i ve j değerlerinin farkı arttıkça (matrisin köşegeninden uzaklaştıkça), üstel olarak artmaktadır [18].

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} |i-j| \quad (7)$$

Benzeşmezlik ölçüsü Eşitlik (7) ile hesaplanır. Benzeşmezlik ölçüsünde köşegenden uzaklaştıkça ağırlık üstel olarak artarak yerine doğrusal olarak artmaktadır.

$$\sum_{i,j}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1-(i-j)^2} \quad (8)$$

Homojenlik ölçüsü Eşitlik (8) ile hesaplanır ve GSEOM üzerinde sıfırdan farklı hücrelerin homojenliğini göstermektedir. Yüksek homojenlik görüntü üzerinde tekrarlı yapıların azlığına işaret etmektedir.

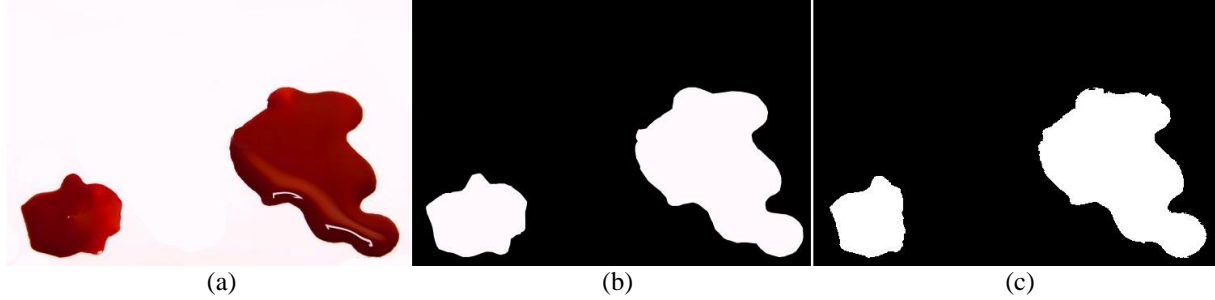
Süper piksel bölütlemesi sonrasında oluşan süper pikseller düzgün bir şekle sahip olmadıklarından doku özellikleri çıkarılacak her bir süper piksel ayrı ayrı ele alınır. İlk adımda her süper pikselin ağırlık merkezi hesaplanmıştır. Ardından bu ağırlık merkezinin çevresinden $8*8$ boyutunda örnek bir kare pencere alınarak bu karenin doku özellikleri hesaplanmış ve ilgili süper piksel ile ilişkilendirilmiştir.

2.4. Süper Piksellerin Etiketlenmesi

Her bir süper piksel için renk ve doku özellikleri çıkarılmasının ardından, eğitim aşamasında kullanılmak üzere her süper pikselin kan görüntüsü içerip içermediğini etiketlemek gerekmektedir. Bunun için orjinal resimlerde kanlı bölgeleri el ile işaretleyerek elde edilen referans resim kullanılır. Bölütleme sırasında her bir süper piksel için süper pikselin sınırlarını belirleyen bir kontur maskesi oluşturulmaktadır. Bu maske ve orjinal resimde kan içeren bölgeyi gösteren referans resmin

karşılaştırılması ile süper piksel pozitif veya negatif olarak etiketlenir.

Bu aşamada her iki görüntü ikili tabana dönüştürüldükten sonra aralarında mantıksal VE işlemi uygulanır. Sonuçta oluşan bölgenin alanının süper pikselin alanına oranı alınarak belirlenen sınırın üstündeki değerlerde süper piksel pozitif, diğer durumda ise negatif olarak etiketlenir. Veri setinden bir örnek, bu örnek için gerçek referans resmi ve süper piksellerin etiketlenmesi ile oluşturulmuş resim sırasıyla Şekil 6-a, b ve c'de verilmiştir.



Şekil 6. a) Veri setinden bir resim b) Gerçek referans resmi c) Eğitim için kullanılacak etiketlenmiş resim

2.5. Sınıflandırma

Özellik çıkartma sonucunda elde edilen eğitim veri kümesinin sınıflandırılmasında DVM kullanılmıştır.

DVM datayı en optimum şekilde iki sınıfa ayırarak karar yüzeyini (decision surface) bulmayı hedefler [19]. Bir DVM'nin karar fonksiyonu, eğitim verisi içinden karar yüzeyinin pozisyonunu belirleyen küçük bir alt kümenin seçilmesi ile belirlenir. Bu alt kümedeki örnekler destek vektörleri olarak adlandırılmaktadır. Karar yüzeyi ile bu yüzeye en yakın eğitim örneklerinin uzaklığı sınıflandırıcının marjı olarak adlandırılır. Destek vektörler, eğitim kümesi içinden maximum marja sahip karar yüzeyini belirleyecek şekilde seçilir. Bir DVM'nin karar fonksiyonu **Eşitlik (9)** ile verilmiştir. Karar fonksiyonunun işareti sınıflandırılacak test örneği x 'in ait olduğu sınıfı göstermektedir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^M y_i a_i(x_i \cdot x) + b \quad (9)$$

Burada M , eğitim setindeki örnek sayısı ve $i=1..M$ olmak x_i i. eğitim örneği, y_i ilgili örneğin sınıf bilgisi, b (bias - düzeltme katsayısı) ve a_i ise eğitim esnasında tahmin edilen scalar bir değerdir. Yalnızca destek vektörleri olarak kullanılacak eğitim örneklerinin a_i katsayıları 0'dan farklıdır.

DVM çekirdek (kernel) olarak tanımlanan bir grup matematiksel fonksiyon kullanır. Çekirdek fonksiyonlarının amacı, doğrusal olarak ayrılamayan veriyi yeni bir uzaya geçirerek ayrılabilir forma çevirmektir. Farklı DVM algoritmaları farklı çekirdek fonksiyonları kullanabilir. Doğrusal ve radyal tabanlı çekirdek fonksiyonları bunlara örnek olarak verilebilir

[20]. Geliştirilen sistemde doğrusal ve radyal tabanlı çekirdek fonksiyonları kullanılmıştır.

III. SİSTEM ARAYÜZÜ

Veri setinden elde edilen modeller kullanılarak Python programlama dilinde bir masaüstü uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın arayüzünden bir ekran görüntüsü Şekil 7'de verilmiştir. Bu uygulama, veri setinden elde edilen modelleri kullanarak girdi olarak verilen resim dosyalarındaki kanlı bölgeleri tespit etmektedir.

Program başlatıldığında kullanıcıdan girdi olarak bir görüntü dosyasını seçmesi istenmektedir. Bu görüntü dosyası ile birlikte kullanıcının kullanılacak modele ait hiperparametreleri de (süper piksel üst sınırı, kullanılacak çekirdek fonksiyonu ve DVM'nin C ceza parametresi değeridir) seçmesi gerekmektedir. Daha sonrasında sistem görüntünün işlenmesini başlatır ve çıktı olarak kanlı bölgelerin işaretlenmiş olduğu resim dosyasını ve bölütlenmiş görüntüyü üretir.



Şekil 7. Kullanıcı arayüzü

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

DVM algoritmasının performansını belirleyen faktörler arasında kullanılan çekirdek fonksiyonu ve C ceza parametresi önemli bir yer tutar.

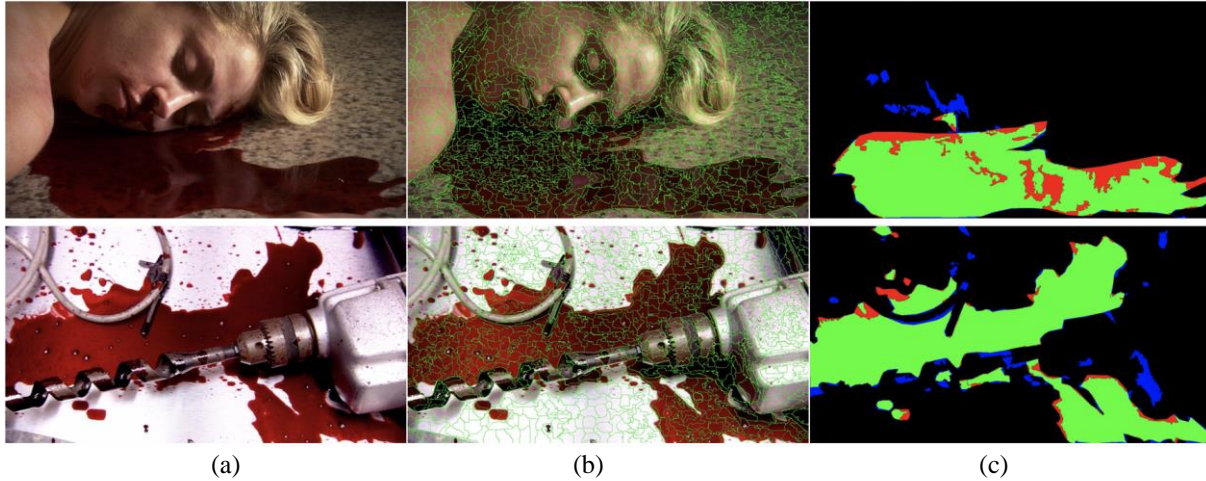
En uygun destek vektörleri ve düzeltme katsayısını bulmak için yapılan DVM optimizasyonunda bir eğitim verisinin daha doğru ayrılması ve karar fonksiyonunu marjının maximize edilmesi arasında seçim yapmak için C ceza parametresi kullanılır. Daha büyük C değerleri daha dar bir marjine sahip karar fonksiyonları üretir, bu da eğitim verisinin daha yüksek başarı ile sınıflandırılmasını sağlar. Daha küçük C değerleri kullanıldığında ise daha basit dolayısı ile aşırı öğrenme (overfitting) ihtimali daha düşük karar fonksiyonları üretilir [21].

DVM uygulanırken lineer ve radyal çekirdek fonksiyonları ve farklı C değerleri kullanılmış, elde edilen farklı modellerin başarı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bununla birlikte resimlerin ayrılabilmesi için maksimum süper piksel sayısı da modelin başarısını

etkilemektedir. Bu parametrelerin sistemin başarısına etkisinin ölçülmesi amacı ile oluşturulacak süper piksellerin üst sınırı 600, 900, 1200 olmak üzere üç farklı şekilde denenmiştir. İçerisinde kan görüntüsü içeren ve içermeyen görüntülerin karışık bir şekilde bulunduğu veri seti, iki farklı çekirdek fonksiyonu, üç farklı üst süper piksel sayısı ve üç ayrı C değerinin kombinasyonları ile elde edilmiş toplamda 18 farklı model ile test edilmiştir.

Modellerin test edilmesi sırasında el ile oluşturulan maske ve programın oluşturduğu maske karşılaştırılarak elde edilen sonuç değerlendirilmiştir. Şekil 8'in ilk kolonunda veri setinde bulunan görüntülerden örnekler verilmiştir. 1200 süper piksel için elde edilen bölütleme sonuçları ortadaki kolonda görülmektedir. Süper piksel tabanlı kanlı bölge tespiti algoritması ile alınan sonuçlar ise en sağdaki kolonda verilmiştir. Yeşil alanlar kan içeren ve önerilen sistem ile doğru tahmin yapılan kısımları, kırmızı bölgeler kan içeren ancak sistem tarafından tespit edilememiş bölgeleri ve mavi kısımlar ise kan içermediği halde programın kan olarak tespit ettiği bölgeleri göstermektedir.



Şekil 8. (a) Veri setinden orijinal resim örnekleri (b) 1200 süper piksel için bölütleme sonucu (c) Süper piksel tabanlı kanlı bölge tespit etme sisteminin sonuçları. Yeşil bölgeler doğru kabulleri, kırmızı bölgeler yanlış redleri ve mavi bölgeler ise yanlış kabulleri göstermektedir.

Süper piksel üst sınırı 600, 900 ve 1200 iken farklı çekirdek fonksiyonları ve C parametreleri kullanılarak elde edilen başarı oranları sırasıyla Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir. Kısıtlı bir veri seti ile yapılan

testlerin güvenilirliğini temin etmek adına K katlamalı çapraz doğrulama kullanılmıştır. K verinin bölüneceği parça sayısı olmak üzere, test sonuçları K=20 için hesaplanmıştır.

Tablo 1. Süper piksel üst sınırı 600 iken elde edilen başarı oranları

Doğrusal Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.95	0.80	0.63	0.69
1	0.95	0.79	0.63	0.69
3	0.95	0.78	0.63	0.69
Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.96	0.88	0.71	0.78
1	0.97	0.88	0.73	0.80
3	0.97	0.87	0.75	0.81

Tablo 2. Süper piksel üst sınırı 900 iken elde edilen başarı oranları

Doğrusal Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.95	0.79	0.63	0.69
1	0.95	0.78	0.64	0.69
3	0.95	0.77	0.64	0.69
Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.96	0.88	0.71	0.78
1	0.97	0.86	0.78	0.82
3	0.97	0.85	0.80	0.82

Tablo 3. Süper piksel üst sınırı 1200 iken elde edilen başarı oranları

Doğrusal Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.94	0.80	0.48	0.57
1	0.94	0.79	0.55	0.64
3	0.94	0.79	0.56	0.64
Radyal Tabanlı Çekirdek Fonksiyonu				
C Değeri	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
0.1	0.97	0.89	0.72	0.79
1	0.97	0.87	0.78	0.82
3	0.97	0.86	0.79	0.82

Oluşturulan modellerden elde edilen sonuçlar süper piksel üst sınırı parametresine göre incelendiğinde, tüm süper piksel üst sınırları için radyal bazlı çekirdek fonksiyonu doğrusal çekirdek fonksiyonuna göre daha iyi sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. C parametresinin değişimi ile doğruluk ve hassasiyette ciddi değişimler görülmemiştir. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında süper piksel üst sınırı arttıkça modelin daha başarılı sonuçlar ürettiği söylenebilir. Ayrıca C parametresinin düşük değerleri daha başarılı sonuçlar vermektedir. En yüksek başarı oranı; 1200 süper piksel üst sınırı, radyal bazlı çekirdek fonksiyonu ve C=3 kombinasyonu ile elde edilmiştir (Tablo 3’de kırmızı ile işaretlenmiştir).

Literatürde bölütlenmiş kanlı bölgeleri içeren açık bir veri seti bulunmamaktadır. Bu çalışmada önerilen süper piksel tabanlı kanlı bölge tespit sisteminin başarısının mevcut metotlar ile karşılaştırılabilmesi için, Yan Gao ve arkadaşlarının geliştirdiği sabit pencere boyutu ve DVM tabanlı sistem [13], bu çalışma kapsamında oluşturulan veri setine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yan Gao ve arkadaşlarının önerdiği çözüm aynı test kümesine uygulandığında elde edilen doğruluk, kesinlik, geri çağırma, F Skoru ve birleşimlerin kesişimi (IoU-Intersection Over Union) değerleri [22] ve önerilen süper piksel tabanlı yöntem ile elde edilen en iyi sonuçlar karşılaştırılmalı olarak Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Yan Gao ve arkadaşlarının önerdiği çözüm ile önerilen süper piksel tabanlı yöntemin karşılaştırmalı sonuçları

Çalışma	Birleşimlerin Kesişimi	Doğruluk	Kesinlik	Geri Çağırma	F Skoru
Önerilen Süper piksel Tabanlı Yöntem	0.71	0.97	0.86	0.79	0.82
Yan Gao ve arkadaşları [13]	0,64	0.96	0.87	0.70	0.77

Bu sonuçlar göz önüne alındığında birleşimlerin kesişimi, doğruluk, geri çağırma ve F Skoru değerlerinde süper piksel bölütlemesi kullanılan modelin daha başarılı sonuçlar aldığı görülmektedir. Süper piksel tabanlı sistem ile sabit pencere tabanlı sistemin başarı oranlarındaki en büyük fark geri çağırma oranında kaydedilmiştir. Bu fark sabit pencere tabanlı sistemin yüksek yanlış negatif oranından

kaynaklanmaktadır. Düşük yanlış negatif oranına sahip olması, kanlı bölgeleri kaçırılmadan filtrelediği için süper piksel tabanlı sistemi pratik olarak daha kullanışlı hale getirmektedir. Önerilen yöntemin birleşimlerin kesişimi oranı da sabit pencere tabanlı sisteme göre oldukça yüksektir. Birleşimlerin kesişimi oranı özellikle arka plana ait piksel sayısının ilgi bölgesine ait alana göre oldukça fazla olduğu problemlerde

başarılı bir ölçüm metriği olarak karşımıza çıkmaktadır [23]. Önerilen sistem ile elde edilen yüksek birleşimlerin kesişimi oranı sistemin daha güvenilir bir yapıda olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil 9’da veri setinden örnek resimler için süper piksel tabanlı sistemin ürettiği ve Yan Gao ve arkadaşlarının önerdiği sistemin ürettiği sonuçlar verilmiştir.



Şekil 9. (a) Veri setinden örnek resimler (b) Süper piksel tabanlı sistemin ürettiği sonuçlar (c) Yan Gao ve arkadaşlarının önerdiği sistemin ürettiği sonuçlar

Verilen örneklerde görüldüğü üzere bir fazla bölütleme yöntemi olan süper piksel bölütlemesi sabit pencere yöntemine göre nesnelerin sınırlarını bulmada daha başarılıdır. Bu özellik özellikle daha organik ve düzenli olmayan sınırları tespit etmede başarı oranını arttırmaktadır.

V. SONUÇ ve GELECEK ÇALIŞMALAR

Gerçekleştirilen projenin amacı verilen bir görüntü dosyası içerisinde kan içeren bölgelerin tespit edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak, toplanan çeşitli görüntü dosyalarından renk ve doku özellikleri çıkartılmıştır. Bu özellikler çıkartılırken alandaki diğer çalışmalardan farklı olarak görüntü dosyası süper piksellere ayrılmış ve daha doğal bir bölütleme elde edilmiştir. Böylece özellik çıkarma işleminin daha

etkili yapılması sağlanmıştır. Süper piksel bölütlemesi sonucunda oluşan her bir parçadan renk özellikleri, doku özellikleri ve kan içerip içermediği bilgisi alınarak her bir süper pikselden bir özellik vektörü elde edilmiştir. Elde edilen vektörlerden DVM algoritması yardımıyla ve farklı çekirdek fonksiyonları kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu modeller kullanılarak test kümesi üzerinde deneyler yapılmıştır.

Deneyler sonucunda kullanılan süper piksel üst sınırı sayısı arttığında başarı oranının da arttığı gözlemlenmiştir. Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu doğrusal çekirdek fonksiyonundan daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Oluşturulan model Yan Gao ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan algoritma ile karşılaştırıldığında

özellikle kesişimlerin birleşimi, geri çağırma ve F Skoru parametrelerinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Ancak geliştirilen sistemin test kümesinde bulunan bazı görüntülerdeki kan ile benzer renk ve doku özellikleri gösteren nesnelere ayırmada istenilen başarıyı gösteremediği görülmüştür. Bu sorunun aşılması için gelecek çalışmalarda işaretlenen bölgenin renk ve doku özellikleri yanı sıra şekil özellikleri de değerlendirmeye alınabilir. Sınıflandırma için derin öğrenme mimarilerinin kullanılması da daha yüksek başarı oranlarının elde edilmesini sağlayacaktır. Oluşturdukları doğal sınırların bölütleme başarısına katkısından dolayı son yıllarda süper piksel tabanlı bölütlemeyi derin öğrenme metodları ile birleştiren çalışmalar yayınlanmaya başlamıştır [24, 25]. Bu yaklaşım kanlı bölge tespiti için kullanıldığında başarıyı önemli ölçüde arttıracaktır. Geliştirilen yöntem uygun veri seti ile eğitilmesi halinde sadece kanlı görüntülerin değil, pornografik görüntülerin tespiti için de kullanılabilir niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] Hu, W., Zuo, H., Wu, O., Chen, Y., Zhang, Z., & Suter, D. (2011). Recognition of adult images, videos, and web page bags. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, 7(1), 1-24.
- [2] Lopes, A. P., de Avila, S. E., Peixoto, A. N., Oliveira, R. S., & Araújo, A. D. A. (2009, August). A bag-of-features approach based on hue-sift descriptor for nude detection. In *2009 17th European Signal Processing Conference* (pp. 1552-1556). IEEE.
- [3] Guermazi, R., Hammami, M., & Hamadou, A. B. (2009, October). Violent web images classification based on MPEG7 color descriptors. In *2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (pp. 3106-3111). IEEE.
- [4] Wang, D., Zhang, Z., Wang, W., Wang, L., & Tan, T. (2012, September). Baseline results for violence detection in still images. In *2012 IEEE Ninth International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance* (pp. 54-57). IEEE.
- [5] Li, B., Xiong, W., Wu, O., Hu, W., Maybank, S., & Yan, S. (2015). Horror image recognition based on context-aware multi-instance learning. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(12), 5193-5205.
- [6] Nievas, E. B., Suarez, O. D., García, G. B., & Sukthankar, R. (2011, August). Violence detection in video using computer vision techniques. In *International conference on Computer analysis of images and patterns* (pp. 332-339). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [7] Zhou, P., Ding, Q., Luo, H., & Hou, X. (2018). Violence detection in surveillance video using low-level features. *PLoS one*, 13(10), e0203668.
- [8] Ullah, F. U. M., Ullah, A., Muhammad, K., Haq, I. U., & Baik, S. W. (2019). Violence detection using spatiotemporal features with 3D convolutional neural network. *Sensors*, 19(11), 2472.
- [9] Hassner, T., Itcher, Y., & Kliper-Gross, O. (2012, June). Violent flows: Real-time detection of violent crowd behavior. In *2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (pp. 1-6). IEEE.
- [10] Peixoto, B., Lavi, B., Bestagini, P., Dias, Z., & Rocha, A. (2020, May). Multimodal Violence Detection in Videos. In *ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 2957-2961). IEEE.
- [11] Obukhova, N., Motyko, A., Timofeev, B., & Pozdeev, A. (2019, April). Method of Endoscopic Images Analysis for Automatic Bleeding Detection and Segmentation. In *2019 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT)* (pp. 285-290). IEEE.
- [12] Arthur, R. M., Hoogenboom, J., Baiker, M., Taylor, M. C., & de Bruin, K. G. (2018). An automated approach to the classification of impact spatter and cast-off bloodstain patterns. *Forensic science international*, 289, 310-319.
- [13] Gao, Y., Wu, O., Wang, C., Hu, W., & Yang, J. (2015, July). Region-based blood color detection and its application to bloody image filtering. In *2015 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)* (pp. 45-50). IEEE.
- [14] Neubert, D. I. P. (2015). Superpixels and their application for visual place recognition in changing environments.
- [15] Liu, L., Ouyang, W., Wang, X., Fieguth, P., Chen, J., Liu, X., & Pietikäinen, M. (2020). Deep learning for generic object detection: A survey. *International journal of computer vision*, 128(2), 261-318.
- [16] Van den Bergh, M., Boix, X., Roig, G., de Capitani, B., & Van Gool, L. (2012, October). Seeds: Superpixels extracted via energy-driven sampling. In *European conference on computer vision* (pp. 13-26). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [17] Marceau, D. J., Howarth, P. J., Dubois, J. M. M., & Gratton, D. J. (1990). Evaluation of the grey-level co-occurrence matrix method for land-cover classification using SPOT imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), 513-519.
- [18] Gebejes, A., & Huertas, R. (2013). Texture characterization based on grey-level co-occurrence matrix. *databases*, 9, 10.

- [19] Vapnik, V. N. (1999). An overview of statistical learning theory. *IEEE transactions on neural networks*, 10(5), 988-999.
- [20] Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9(3), 293-300.
- [21] Ye, F., Zhang, Z., Chakrabarty, K., & Gu, X. (2016). Knowledge-driven board-level functional fault diagnosis. Springer.
- [22] Ali, S., Zhou, F., Daul, C., Braden, B., Bailey, A., Realdon, S., ... & Blondel, W. (2019). Endoscopy artifact detection (EAD 2019) challenge dataset. *arXiv preprint arXiv:1905.03209*.
- [23] van Beers, F., Lindström, A., Okafor, E., & Wiering, M. A. (2019). Deep Neural Networks with Intersection over Union Loss for Binary Image Segmentation. In *ICPRAM* (pp. 438-445).
- [24] Blanco, G., Traina, A. J., Traina Jr, C., Azevedo-Marques, P. M., Jorge, A. E., de Oliveira, D., & Bedo, M. V. (2020). A superpixel-driven deep learning approach for the analysis of dermatological wounds. *Computer methods and programs in biomedicine*, 183, 105079.
- [25] da Silva, G. L., Diniz, P. S., Ferreira, J. L., França, J. V., Silva, A. C., de Paiva, A. C., & de Cavalcanti, E. A. (2020). Superpixel-based deep convolutional neural networks and active contour model for automatic prostate segmentation on 3D MRI scans. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 58(9), 1947-1964.

İndirgenmiş Grafen Oksit ile Kaplanan Pamuk Kumaşın Elektriksel İletkenlik ve Haslık Özelliklerinin İncelenmesi

The Investigation of Electrical Conductivity and Color Fastness Properties of Reduced Graphene Oxide Coated Cotton Fabric

Bekir Cenkkut GÜLTEKİN¹ 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul/Türkiye

Öz

Bu çalışmada, %100 grafen oksit içeren pat hazırlanarak rakle kaplama makinasında pamuk kumaş üzerine kaplama işlemi gerçekleştirildi. Bu amaçla, grafit partiküllerden kimyasal oksidasyon yöntemiyle grafen oksit sentezlendi. Herhangi bir yardımcı kimyasal kullanılmadan hazırlanan %100 grafen oksitten oluşan hidrosol ile kaplama işleminin ardından grafen oksitin elektriksel olarak iletken yapıya dönüşmesi amacıyla C vitamini ile indirgeme işlemi uygulandı. Grafen oksit ve indirgenmiş grafen oksit kaplanmış kumaşın karakterizasyonu Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile gerçekleştirildi ve yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Elektriksel direnç, dört nokta prob tekniği ile ölçüldü. Yıkama ve sürtme haslık testleri gerçekleştirilerek indirgenmiş grafen oksit kaplı kumaşın elektriksel direnç dayanımı belirlendi. Buna göre, grafen oksit kaplanan pamuk kumaşta elektriksel direnç $4.46E+06 \Omega/\square$ olarak elde edildi ve C vitamini ile indirgeme işlemi sonrası elektriksel direnç $2.56E+02 \Omega/\square$ olarak ölçüldü. Yıkama sonrasında elektriksel direnç değerinde kaydadeğer bir değişim olmadığı ancak haslık testleri sonrasında bir miktar artış olduğu gözlemlendi. Ayrıca, indirgenmiş grafen oksit kaplı pamuk kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği de incelendi ve kumaşın katlanmasıyla kalkanlama etkinliğinin arttığı görüldü.

Anahtar kelimeler: grafen oksit, kaplama, indirgeme, elektriksel iletkenlik, pamuk kumaş.

Abstract

In this study, 100% graphene oxide containing paste were prepared and coated on cotton fabric in a knife coating machine. For this purpose, graphene oxide is synthesized from graphite by the chemical oxidation method. After the coating process of graphene oxide hydrosol which is prepared without any auxiliary chemicals, the reduction process with Vitamin C was applied to obtain the electrically conductive structure. The characterization of graphene oxide and reduced graphene oxide coated cotton fabric was carried out by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and the surface properties were examined with scanning electron microscopy (SEM). The electrical resistivity was measured by four point probe technique. The durability of electrical resistivity after washing and rubbing fastness tests was also determined. The electrical resistivity of graphene oxide coated cotton fabric was obtained as $4.46E+06 \Omega/\square$ and after the Vitamin C reduction process, the electrical resistivity was measured as $2.56E+02 \Omega/\square$. It was observed that there was no significant change in electrical resistivity after washing test while the electrical resistivity increased after the rubbing fastness tests. Additionally, the electromagnetic shielding effectiveness of reduced graphene oxide coated cotton fabric was tested and it was seen that the electromagnetic shielding effectiveness was increased with the plying of fabric.

Key words: graphene oxide, coating, reduction, electrical conductivity, cotton fabric.

I. GİRİŞ

Grafen, tek tabaka karbon atomlarının 2 boyutlu balpeteği yapısında düzenlenmesiyle oluşmaktadır ve diğer tüm boyutlardaki grafitik malzemelerinin temel yapıtaşıdır. Grafen, eşsiz yapısı ve mükemmel elektronik, optik, termal ve mekanik özellikleri sebebiyle birçok konvansiyonel 3 boyutlu malzemeden farklılık göstermekte ve çok çeşitli alanlarda gelişmiş malzemelerin üretilmesinde oldukça dikkat çekmektedir [1-5]. Grafenin konvansiyonel tekstillerle birleştirilmesiyle fonksiyonel tekstillerin geliştirilmesi önemli araştırma konuları haline gelmiştir. Grafen içerikli tekstillerin gerilim sensörleri [6], süperkapasitörler [7], enerji depolama [8] gibi elektriksel uygulamalarda oldukça umut verici olduğu görülmüştür. Ayrıca, tekstillerin sahip olduğu esneklik, hafiflik, düşük maliyet gibi özelliklerinden dolayı grafen esaslı giyilebilir elektriksel iletken tekstillerin geliştirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır [9-12]. Elektriksel iletken tekstiller sağlık, askeri, giyilebilir elektronikler ve akıllı tekstiller gibi çeşitli alanlara kullanılmaktadır. Ayrıca, halı, otomobil koltukları gibi endüstriyel ve konvansiyonel alanlarda ısıtma elemanı olarak da kullanılmaktadır [13, 14]. Grafen, yüksek taşıyıcı hareket yeteneği, mekanik dayanıklılığı, çevresel kararlılığı ve düşük maliyetli üretilebilirliği sayesinde iletken katkı maddesi, mürekkep ve kaplamalarda

kullanım için birçok gereksinimi karşılama potansiyeline sahiptir. Ancak grafende fonksiyonel grupların bulunmaması kullanımını kısıtlamaktadır. Grafenin fonksiyonelleştirilmiş türevi olan grafen oksitin yüzeyinde oldukça fazla miktarlarda hidrofilik fonksiyonel grup bulunmaktadır [15-17]. Grafen oksitin sulu dispersiyonunun halihazırda herhangi bir polimerik ya da yüzey aktif stabilizör kullanımına gerek olmadan karboksil ve hidroksil grupların varlığıyla oldukça kolay bir şekilde hazırlanabildiği görülmüştür. Bu avantaj, elektriksel olarak iletken tekstillerin geliştirilmesinde, tıpkı bitim işlemlerinde olduğu gibi daldırma, kaplama veya boyama prosesi şeklinde grafenin direk olarak uygulanabilirliğini mümkün kılmıştır [1, 15]. Grafen oksit tabakaları, kumaşta bulunan fonksiyonel gruplar ve grafen oksitteki fonksiyonel gruplar arasındaki çekim kuvvetlerinin etkisiyle kumaş yüzeyine adsorbe olurlar [18]. Ancak grafen oksit elektriksel olarak yalıtkan olduğundan uygulama sonrasında indirgenerek elektriksel olarak iletken olan indirgenmiş grafen oksite dönüştürülmesi gerekmektedir [19]. Tekstil yüzeylerinde grafen oksitin indirgeme prosesi genellikle farklı kimyasal indirgeme maddelerinin kullanıldığı kimyasal indirgeme ile ve inert atmosfer veya kimyasal indirgeyici gaz ortamında yüksek sıcaklıkta termal indirgeme işlemleri ile gerçekleştirilmektedir [16]. Kimyasal indirgeme işleminde çeşitli özelliklerde indirgeme maddeleri kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak toksik ve insan sağlığına ve çevreye oldukça zararlı hidrazin, hidrokinon, sodyum borohidrit verilebilir. Son yıllarda grafen oksitin çevre dostu indirgenmesinde yaygın olarak kullanılan malzeme ise askorbik asittir (C Vitamini) [20-24]. Birçok tekstil malzemesi arasında pamuk kumaş en yaygın olarak kullanılan malzemedir. Pamuğun kimyasal yapısında bulunan hidroksil gruplardan dolayı pamuk kumaş kolaylıkla modifiye edilebilir ve diğer aktif malzemelerle etkileşimi artırılabilir [15]. Elektriksel iletken pamuk kumaş üretiminde indirgenmiş grafen oksit kullanımıyla ilgili birtakım çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda daldırma yöntemiyle kaplama prosesi yaygın olarak uygulanmıştır. Ancak, bu yöntemde kumaş üzerindeki grafen oksit miktarını artırmak için çoklu tekrarların yapılması gerektiğinden, bu proses büyük ölçekli üretimler için uygun değildir [1, 3, 15, 25-29].

Bu çalışmada, %100 grafen oksit içeren pat hazırlanarak rakle kaplama makinasında pamuk kumaş üzerine kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu pat içerisinde herhangi bir yardımcı kimyasal ve bağlayıcı madde kullanılmamıştır. %100 grafen oksit kaplanan pamuk kumaşın elektriksel olarak iletken yapıya dönüşmesi amacıyla C vitamini ile indirgeme işlemi uygulanmıştır. Grafen oksit ve indirgenmiş grafen oksit kaplanmış kumaşın karakterizasyonu Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir. Elektriksel direnç, dört nokta prob tekniği ile

ölçülmüştür. Yıkama ve sürtme haslık testleri gerçekleştirilerek indirgenmiş grafen oksit kaplı kumaşın elektriksel direnç dayanımı belirlenmiştir.

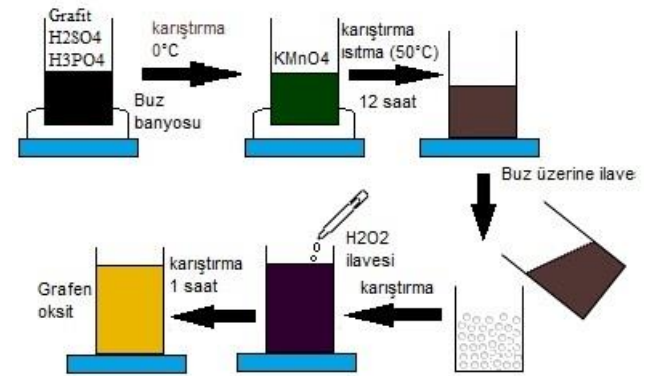
II. MATERYAL VE METOT

1.1. Malzemeler

Grafite partiküller Sigma Aldrich firmasında temin edilmiştir. Hidrojen peroksit (H_2O_2 , %35), sülfürik asit (H_2SO_4 , %95-98), fosforik asit (H_3PO_4), potasyum permanganat ($KMnO_4$) and hidroklorik asit (HCl , %37) Merck firmasından temin edilmiştir. Tüm çalışma boyunca destile su kullanılmıştır. Çalışmada %100 pamuk, atkı sıklığı 18 tel/cm ve çözgü sıklığı 36 tel/cm olan bezayağı dokuma kumaş kullanılmıştır.

1.2. Grafen oksit sentezi

Grafen oksit, grafit partiküllerden geliştirilmiş Hummer yöntemi ile sentezlenmiştir. Kısaca, 9:1 oranında H_2SO_4/H_3PO_4 (360:40 mL) karışımına grafit partikülleri (3 g) ilave edilerek manyetik karıştırıcıda buz banyosunda karıştırılmıştır. Ardından, $KMnO_4$ (18 g) eklenmiş ve tamamen çözündükten sonra karışımın sıcaklığı $50^\circ C$ 'ye çıkarılmış ve 12 saat karıştırılmıştır. Reaksiyon sıcaklığı oda sıcaklığına ($25^\circ C$) geldikten sonra buz (400 ml) üzerine dökülmüştür ve tamamen erime gerçekleşip karışım homojen bir hale geldiğinde %30'luk H_2O_2 (6 mL) ile reaksiyon sonlandırılmıştır (Şekil 1). Elde edilen süspansiyon $8000\ rpm$ 'de 30'ar dk süre ile önce 1 M HCl çözeltisi, sonra 200 ml etanol (x2) ve son olarak destile su ile pH 4-5 olana dek yıkanmıştır. Son olarak elde edilen katı ürün etüvde $60^\circ C$ 'de kurutulmuştur.

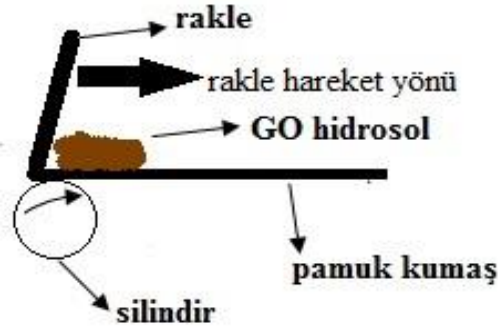


Şekil 1. Grafen oksit sentezinin şematik gösterimi

2.3. Kaplama uygulaması ve indirgeme işlemi

Kaplama işlemi için sentezlenen grafen oksitten 20 mg/ml konsantrasyonda hidrosol hazırlanmıştır. Hazırlanan hidrosol içerisinde yardımcı kimyasal ve bağlayıcı katılmamıştır. Elde edilen hidrosol viskozitesi oda sıcaklığında ($25^\circ C$) s04 mil ile 50 rpm hızda 964 cP (Brookfield DV-E Viscometer) olarak bulunmuştur. Pamuk dokuma kumaş kaplama makinesine numune tutucu iğnelere yerleştirilmiş ve ardından grafen oksit pat kumaşın üzerine dökülmüş ve otomatik raklenin hareketi ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Ardından kumaş $120^\circ C$ 'de 10 dk fikse edilmiştir.

Elde edilen grafen oksit kaplı kumaşın indirgeme işlemi 50:1 (L:G) banyo oranında 0.1 M C vitamini sulu çözeltisinde 95°C'de 90 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Ardından kumaş destile su ile yıkanmış ve reaksiyon kalıntıları uzaklaştırılmıştır. Son olarak, indirgenmiş grafen oksit kaplı pamuk kumaş etüvde 90°C'de 30 dk kurutulmuştur.



Şekil 2. Silindir üzeri rakle kaplama uygulamasının şematik görünümü

2.4. Karakterizasyon

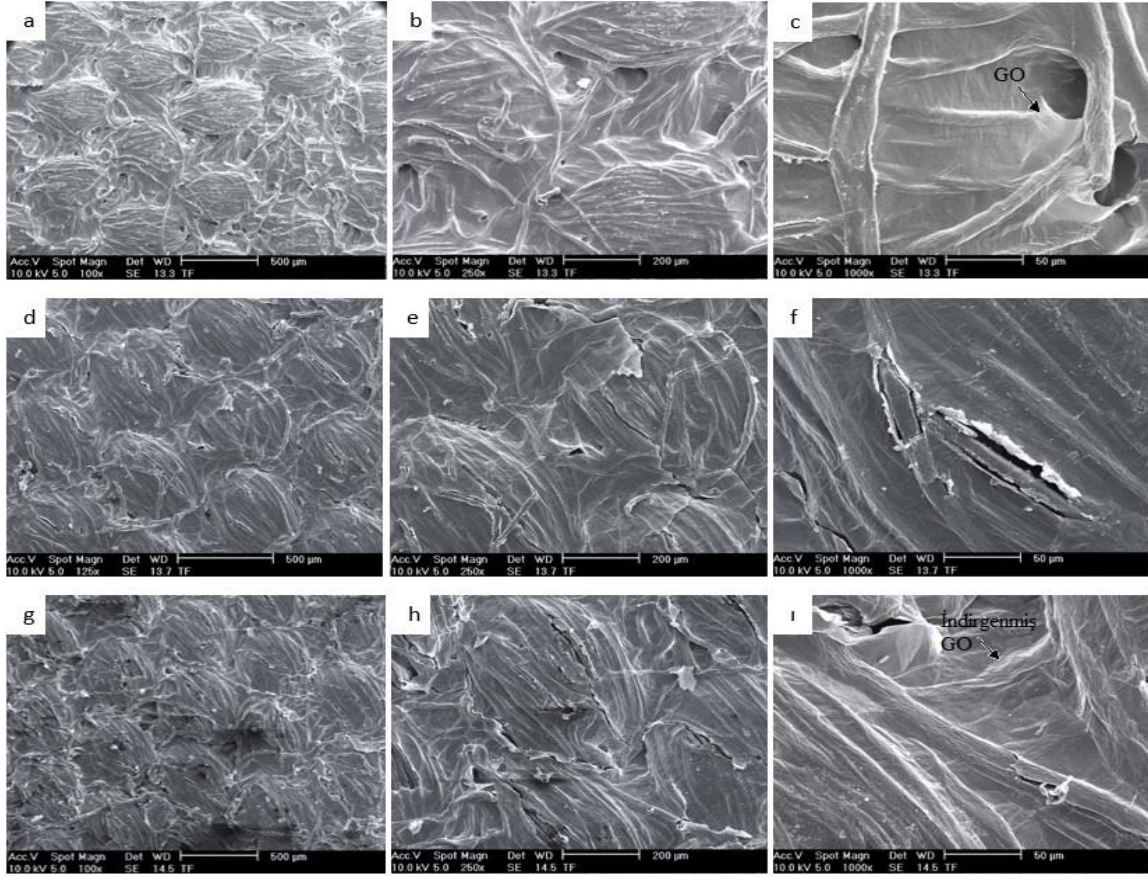
Taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM, FEI Sirion) GO ile kaplanan pamuk kumaşın yüzey morfolojisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. GO ile kaplama sonrasında ve indirgeme işlemi sonrası ve indirgenmiş numunenin yıkama sonrası SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR, Perkin Elmer Spectrum Two) 650-4000 cm^{-1} frekans aralığında numunelerin kimyasal yapılarının analizinde kullanılmıştır. Numunelerin elektriksel direnci 4-nokta uç (Keithley 2450 Sourcemeter, Everbeing Int'l Corp) ile ölçülmüştür. Kaplama kalınlık ölçümü Mitutoyo kalınlık ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune en az 5 kez ölçülmüş ve ortalama sonuç dikkate alınmıştır. Kaplanan kumaşların mikroskop görüntüleri ışık mikroskobu (Olympus, SZ-PT, SZ60) ile elde edilmiştir. Yıkamaya karşı renk haslığı testi ISO 105-C06 standardına göre uygulanmıştır.

Sonuçların değerlendirilmesinde gri skala (1 en kötü- 5 en iyi) kullanılmıştır. Sürtünmeye karşı renk haslığı testi ISO 105-X12 standardına göre uygulanmıştır. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, ASTM D4935-10 düzlemsel materyaller için koaksiyel transmisyon hattı yöntemi standardına göre test edilmiştir. Burada, numuneyi tutmak için kalkanlama etkinliği test aparatı (Electro-Metrics, Inc., model EM-2107A) ve elektromanyetik sinyal üreten ve geri dönüşü ölçen network analizör (Rohde&Schwarz ZVL-Network Analyzer) kullanılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. SEM analizi

GO kaplama, indirgeme ve yıkama işlemi sonrasında pamuk kumaşın yüzey özellikleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Şekil 3 (a-c)'de GO kaplanan pamuk kumaşın farklı büyütme ölçeklerindeki görüntülerinden anlaşılacağı üzere pamuk kumaş yüzeyi GO ile homojen bir şekilde kaplanmıştır. Kumaştaki ipliklerinin üzerinin tamamen GO ile örtüldüğü ve kumaş yapısındaki boşlukların GO ile dolduğu görülmektedir. Şekil 3(b ve c)'de kumaş üzerinde GO yapısının kıvrımlı ve buruşuk bir formda olduğu anlaşılmaktadır. C vitamini ile indirgeme işlemi sonrasında pamuk kumaşa ait görüntüler şekil 3(d-f)'de verilmiştir. Buradan, indirgeme işleminden sonra kumaş üzerinde indirgenmiş GO tabakaların bulunduğu ve kaplamanın homojenliğinin bozulmadan kaldığı görülmektedir. Şekil 3f'de indirgeme işlemi ile GO tabakalardaki oksijen içerikli fonksiyonel grupların yok olması sonucu indirgenmiş grafen oksitin daha kıvrımlı ve buruşuk görüntüsünün olmadığı ve daha kırılabilir bir formda olduğu söylenebilir. İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın yıkama işlemi sonrası görüntüsü şekil 3(g-ı)'da verilmiştir. Yıkama işlemi sonrasında indirgenmiş GO kaplamanın pamuk kumaş üzerinde kaldığı ancak kaplamanın homojenliğinin yer yer bozulduğu görülmektedir.

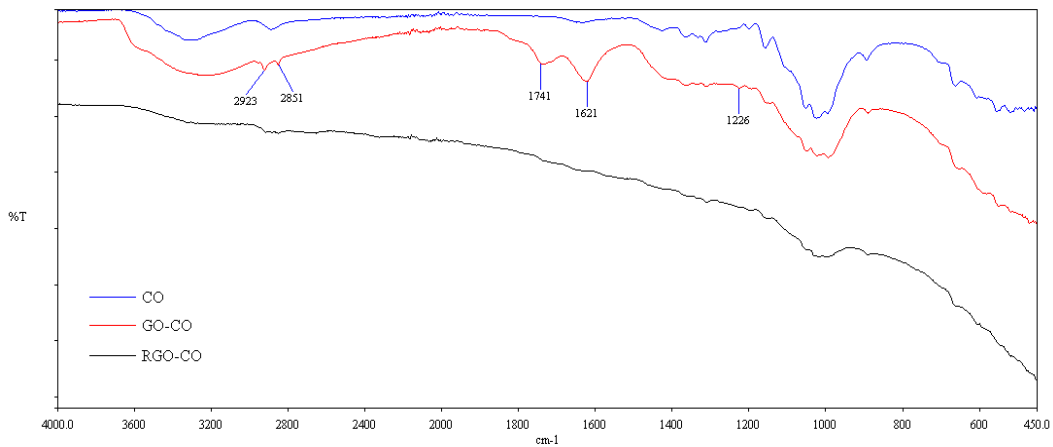


Şekil 3. Numunelere ait SEM görüntüleri (a-c) GO kaplanmış pamuk kumaş, (d-f) indirgenmiş GO kaplanmış pamuk kumaş, (g-i) yıkama sonrası indirgenmiş GO kaplanmış pamuk kumaş.

3.2. FTIR analizi

Şekil 4'te pamuk kumaşa, GO kaplanan ve indirgeme işlemi uygulanan kumaşlara ait FTIR spektrumu 400-4000 cm^{-1} aralığında verilmiştir. Ölçümler, kumaşın kaplanmış yüzeyinde gerçekleştirilmiştir. Burada, pamuk kumaşa ait karakteristik pikler belirgin bir şekilde görülmektedir. GO kaplama işleminin ardından yeni piklerin oluştuğu net bir şekilde söylenebilir. 2923 ve 2851 cm^{-1} 'de simetrik ve asimetrik CH_2 moleküler esneme titreşimlerine ve 1741 cm^{-1} 'de karboksil gruplarının ve karbonil içeren grupların artmasıyla $\text{C}=\text{O}$ esnemesine ait pik oluşumu görülmektedir. 1621

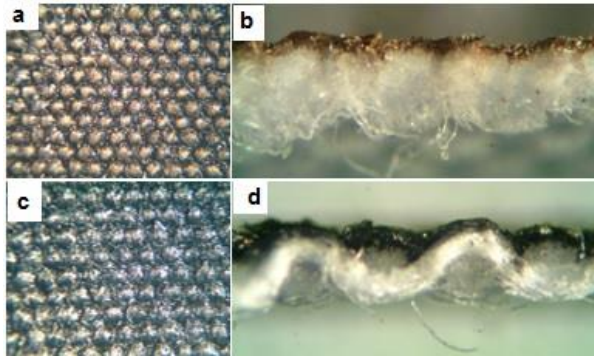
cm^{-1} 'de oluşan pik ise GO'da bulunan su moleküllerine ait $-\text{OH}$ gruplarının bükülme ve esneme titreşimlerini göstermektedir. Bir diğer belirgin değişim ise 3300-3400 cm^{-1} 'deki hidroksil ($-\text{OH}$) bandının genişlemesidir. Tüm bu değişimler GO partiküllerinin kumaş yüzeyine tutunduğunu göstermektedir [30, 31]. İndirgeme işleminden sonra ise elde edilen spektrumda belirgin değişikliklerin olduğu görülmektedir. GO'ya ait karakteristik piklerin yok olduğu açıkça görülmektedir. Buradan, indirgeme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği ve oksijen içeren grupların uzaklaştırıldığı net bir şekilde ifade edilebilmektedir.



Şekil 4. Numunelere ait FTIR spektrumu

3.3. Yüzey morfolojisi ve kaplama kalınlığı

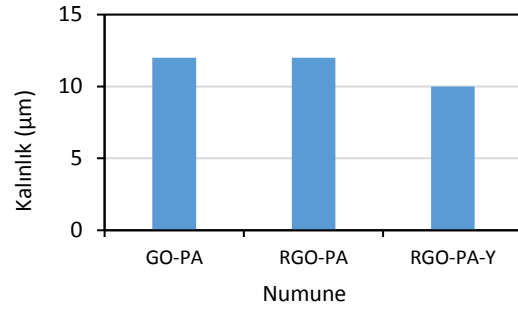
Şekil 5'te GO kaplanmış ve indirgenmiş GO kaplanmış pamuk kumaşa ait ışık mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekil 5 (a) grafen oksit ve (c) indirgenmiş grafen oksit kaplı pamuk kumaşın yüzey görüntülerine ait iken, (b) grafen oksit ve (d) indirgenmiş grafen oksit kaplı pamuk kumaşın kesit görüntülerini vermektedir. Açıkça görülmektedir ki, GO kaplama işlemi kumaş yüzeyinde başarı ile gerçekleştirilmiş ve kaplama rengi kahverengi olarak görülmektedir. GO'nun elektriksel olarak iletken olan indirgenmiş GO'ya dönüştüğünün tespit edilmesinde ilk ve en belirgin yöntem görsel olarak değerlendirilmiştir. İndirgeme işlemi ile oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştırılarak kaplama renginin siyah-metalik gri olarak elde edildiği ve kaplamanın homojen bir şekilde kumaş üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5. GO (a, b) ve indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın (c,d) yüzey ve kesit mikroskop görüntüleri

Şekil 6'da GO kaplanmış ve indirgenmiş GO kaplanmış pamuk kumaşa ait kaplama kalınlığı verilmiştir. Kaplama kalınlık ölçümü, kaplanmış kumaşın kalınlığından işlem görmemiş kumaşın kalınlığının çıkarılması ile elde edilmiştir. Şekil 6'da, GO ve indirgenmiş GO kaplamaların kalınlıklarının 12 μm olduğu görülmektedir. İndirgeme işleminden sonra kaplama kalınlığının değişmediği açıkça görülmektedir. Ancak, yıkama işleminden sonra indirgenmiş GO kaplama kalınlığında bir miktar azalma meydana gelmiştir. Kaplama kalınlığı yıkama işleminden sonra 10 μm 'ye düşmüştür. Yıkama işlemi ile kumaş üzerindeki indirgenmiş GO miktarında

azalma olduğu ve kumaşa tam olarak tutunamayan indirgenmiş GO partiküllerinin yıkama esnasındaki mekanik etkiyle uzaklaştığı söylenebilir.



Şekil 6. Kaplama kalınlığı

3.4. Elektriksel direnç ölçümü

GO kaplanmış ve indirgenmiş GO kaplanmış pamuk kumaşa ait elektriksel direnç ölçüm sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi GO kaplanan kumaşın elektriksel direnci oldukça yüksek bir değere ($4.46\text{E}+06 \Omega/\square$) sahiptir. C vitamini ile indirgeme işleminden sonra yapılan ölçümde elektriksel direnç değerinde belirgin bir düşüş olduğu açıkça ifade edilmektedir. $2.56\text{E}+02 \Omega/\square$ olarak elde edilen bu değer ile indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın elektriksel olarak iletken olduğu söylenebilir.

Tablo 1. GO kaplanan ve indirgeme işlemi uygulanan kumaşın elektriksel direnç sonuçları

Numune	Elektriksel direnç (Ω/\square)
GO-PA	$4.46\text{E}+06$
RGO-PA	$2.56\text{E}+02$

3.5. Yıkamaya karşı renk haslığı testi

İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın yıkamaya karşı renk haslığı testine ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın yıkamaya karşı renk haslığının gri skala değerlendirmesinde en yüksek değerde olduğu görülmektedir. Yıkama sonrası kaplamada herhangi bir renk değişimi olmadığı ve kaplanmış kumaşın referans kumaşı lekelemesinin de gri skala değerlendirmesinde en iyi değere sahip olduğu açıkça ifade edilmektedir.

Tablo 2. İndirgenmiş GO kaplanan pamuk kumaşın yıkamaya karşı renk haslığının değerlendirmesi

Numune	Lekeleme						Yıkamaya karşı renk haslığı
	Yün	Akrilik	Poliester	Poliamid	Pamuk	Asetat	
RGO-PA	5	5	5	5	5	5	5

3.6. Sürtünmeye karşı renk haslığı testi

İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın sürtünmeye karşı renk haslığı testine ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre, indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın atkı ve çözgü yönlerindeki yaş sürtme test

sonucunun gri skalada değerlendirmesinde en düşük değerlere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, kuru sürtme test sonucunun gri skaladaki değerlendirmesinin orta seviyede olduğu söylenebilir.

Tablo 3. İndirgenmiş GO kaplanan pamuk kumaşın sürtünmeye karşı renk haslığının değerlendirilmesi

Numune	Yaş Sürtme		Kuru Sürtme	
	Atkı	Çözgü	Atkı	Çözgü
RGO-PA	1/2	1/2	2/3	2/3

3.7. Haslık testleri sonrası elektriksel direnç

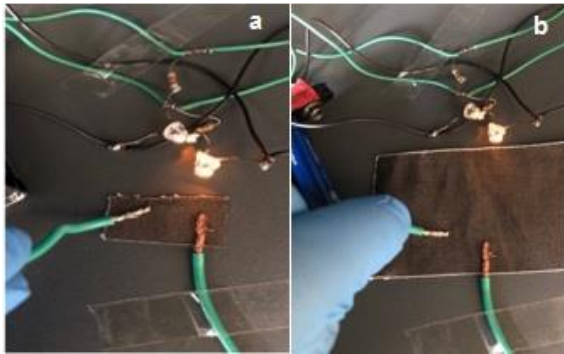
İndirgenmiş GO kaplanan pamuk kumaşın yıkama ve sürtme testleri sonrasında elektriksel direnç ölçüm sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Açıkça görülmektedir ki, sürtme ve yıkama testleri sonrasında indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın elektriksel direncinde artış meydana gelmiştir. İndirgeme sonrasında ölçülen

elektriksel direnç değeri $2.56E+02 \Omega/\square$ iken, yaş ve kuru sürtme sonrası bu değer, sırasıyla, en yüksek $5.39E+04 \Omega/\square$ ve $4.34E+03 \Omega/\square$ olarak elde edilmiştir. Ancak yıkama testi sonrasında elektriksel dirençte meydana gelen artış dikkate alınmayacak seviyede düşüktür.

Tablo 4. Sürtme ve yıkama testleri sonrasında indirgenmiş GO kaplı numunelerin elektriksel direnç sonuçları

Numune	Elektriksel direnç (Ω/\square)				
	Yaş Sürtme		Kuru Sürtme		Yıkama
	Atkı	Çözgü	Atkı	Çözgü	
RGO-PA	$3.05E+04$	$5.39E+04$	$4.34E+03$	$4.06E+03$	$5.19E+02$

Yıkama testi öncesi ve sonrasında indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın sarı LED lambaları yaktığı görseller Şekil 7'de verilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere, indirgenmiş GO kaplama sarı LED lambaları yakacak yeterli elektriksel iletkenlik değerine sahiptir. Buna ilave olarak, yıkama işlemi sonrasında da kaplamanın elektriksel iletkenliğinde değişiminin olmadığı yine sarı LED lambanın yanmasıyla da desteklenmektedir.

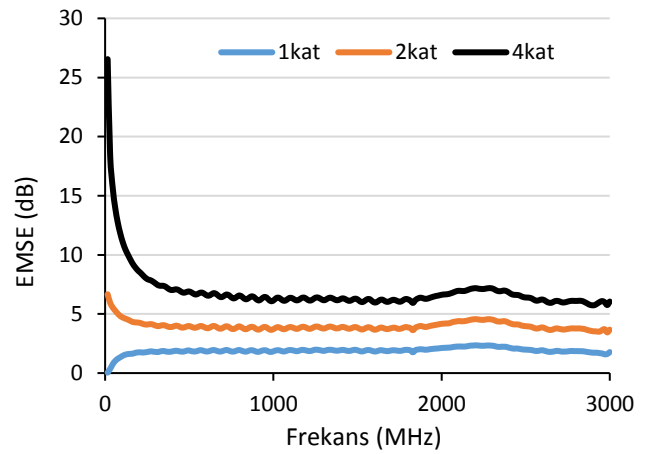


Şekil 7. Yıkama testi öncesi (a) ve sonrasında (b) indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşta sarı LED'in yanması

3.8. İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği

İndirgenmiş GO kaplanan pamuk kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçüm sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Elektromanyetik kalkanlama etkinliği, indirgenmiş grafen oksit kaplı pamuk kumaşın tek kat, iki kat ve dört kat şeklinde katlanmasıyla ölçülmüştür. Buradan anlaşılacağı üzere, indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği kumaşın katlanma sayısının artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Kumaşın tek kat olarak elektromanyetik kalkanlama etkinliği değeri en yüksek 2.35 dB olarak 2205 MHz frekansta elde edilirken, iki kat olarak en yüksek değer 4.56 dB , dört kat olarak 7.18 dB olarak yine aynı frekansta elde

edilmiştir.



Şekil 8. İndirgenmiş GO kaplanan pamuk kumaşın elektromanyetik kalkanlama etkinliği

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, herhangi bir yardımcı kimyasal kullanılmadan %100 grafen oksit içerikli hidrosol hazırlanarak pamuk kumaş üzerine rakle ile kaplama yöntemiyle uygulanmıştır. Ardından C vitamini ile indirgeme işlemi gerçekleştirilerek yapılan kaplamanın elektriksel olarak iletken hale gelmesi sağlanmıştır. FTIR ve SEM analizleri ile grafen oksitin kumaş yüzeyine başarılı bir şekilde kaplandığı net bir şekilde görülmüştür. Ayrıca C vitamini ile indirgeme işlemi sonrasında yapıdaki oksijen içerikli fonksiyonel grupların uzaklaştırıldığı da bu analizlerde açıkça ortaya konmuştur. İndirgeme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinin bir diğer önemli kanıtı da elektriksel direnç değerindeki belirgin değişimdir. İndirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın yıkamaya ve sürtünmeye karşı renk haslığı testleri sonucunda kaplamanın yıkama sonrasında daha kalıcı olduğu ve elektriksel direncin değişmediği, özellikle yaş sürtmeye karşı renk haslığının en kötü olduğu ve elektriksel direnç artışının en fazla olduğu ortaya konmuştur.

Ayrıca, elektromanyetik kalkanlama etkinliği ölçüm sonucunda, indirgenmiş GO kaplı pamuk kumaşın katlama sayısının artmasıyla doğru orantılı olarak kalkanlama etkinliğinin arttığı net olarak belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Shateri-Khalilabad, M. ve Yazdanshenas, M. E. (2013). Fabricating electroconductive cotton textiles using graphene. *Carbohydr Polym.*, 96(1), 190-195.
- [2] Tissera, N.D., Wijesena, R. N., Perera, J. R., De Silva, K. M. N. ve Amaratunge, G. A. J. (2015). Hydrophobic cotton textile surfaces using an amphiphilic graphene oxide (GO) coating. *Appl Surf Sci*, 324, 455-463.
- [3] Hu, X., Tian, M., Qu, L., Zhu, S., Han, G. (2015). Multifunctional cotton fabrics with graphene/polyurethane coatings with far-infrared emission, electrical conductivity, and ultraviolet-blocking properties. *Carbon*, 95, 625-633.
- [4] Lu, Z., Mao, C. ve Zhang, H. (2015). Highly conductive graphene-coated silk fabricated via a repeated coating-reduction approach. *J Mater Chem C*, 3(17), 4265-4268.
- [5] Zhao, J., Deng, B., Lv, M., Li, J., Zhang, Y., Jiang, H., Peng, C., Li, J., Shi, J., Huang, Q., Fan, C. (2013). Graphene oxide-based antibacterial cotton fabrics. *Adv Healthc Mater*. 2(9), 1259-66.
- [6] Wang, D., Li, D., Zhao, M., Xu, Y., Wei, Q. (2018). Multifunctional wearable smart device based on conductive reduced graphene oxide/polyester fabric. *Appl Surf Sci*. 454, 218-226.
- [7] Shao, F., Bian, S. W., Zhu, Q., Guo, M. X., Liu, S., Peng, Y. H. (2016). Fabrication of Polyaniline /Graphene /Polyester Textile Electrode Materials for Flexible Supercapacitors with High Capacitance and Cycling Stability. *Chem Asian J*. 11(13), 1906-12.
- [8] Ramadoss, A., Saravanakumar, B. ve Kim, S. J. (2015). Thermally reduced graphene oxide-coated fabrics for flexible supercapacitors and self-powered systems. *Nano Energy*. 15, 587-597.
- [9] Ji, Y., Li, Y., Chen, G., Xing, T. (2017). Fire-resistant and highly electrically conductive silk fabrics fabricated with reduced graphene oxide via dry-coating. *Mater Design*. 133, 528-535.
- [10] Gültekin, N. D. ve Usta, İ. (2015). Investigation of Thermal and Electrical Conductivity Properties of Carbon Black Coated Cotton Fabrics. *Marmara University Journal of Science*. 27(3).
- [11] Babaahmadi, V., Montazer, M. ve Gao, W. (2018). Surface modification of PET fabric through in-situ reduction and cross-linking of graphene oxide: Towards developing durable conductive fabric coatings. *Colloid Surface A*. 545, 16-25.
- [12] Cai, G., Yang, M., Xu, Z., Liu, J., Tang, B., Wang, X. (2017). Flexible and wearable strain sensing fabrics. *Chem Eng J*. 325, 396-403.
- [13] Kongahge, D., Foroughi, J., Gambhir, S., Spinks, G. M., Wallace, G. G. (2016). Fabrication of a graphene coated nonwoven textile for industrial applications. *RSC Adv*. 6(77), 73203-73209.
- [14] Berendjchi, A., Khajavi, R., Yousefi, A. A., Yazdanshenas, M. E. (2016). Improved continuity of reduced graphene oxide on polyester fabric by use of polypyrrole to achieve a highly electro-conductive and flexible substrate. *Appl Surf Sci*. 363, 264-272.
- [15] Ren, J., Wang, C., Zhang, X., Carey, T., Chen, K., Yin, Y., Torrisi, F. (2017). Environmentally-friendly conductive cotton fabric as flexible strain sensor based on hot press reduced graphene oxide. *Carbon*. 111, 622-630.
- [16] Javed, K., Galib, C. M. A., Yang, F., Chen, C. M., Wang, C. (2014). A new approach to fabricate graphene electro-conductive networks on natural fibers by ultraviolet curing method. *Synthetic Met*. 193, 41-47.
- [17] Fugetsu, B., Sano, E., Yu, H., Mori, K., Tanaka, T. (2010). Graphene oxide as dyestuffs for the creation of electrically conductive fabrics. *Carbon*. 48(12), 3340-3345.
- [18] Molina, J., Fernández, J., Fernandes, M., Souto, A. P., Esteves, M. F., Bonastre, J., Cases, F. (2015). Plasma treatment of polyester fabrics to increase the adhesion of reduced graphene oxide. *Synthetic Met*. 202, 110-122.
- [19] Molina, J., Fernández, J., del Río, A., Bonastre, J., Cases, F. (2013). Chemical and electrochemical study of fabrics coated with reduced graphene oxide. *Appl Surf Sci*. 279, 46-54.
- [20] Li, C., Zhuang, Z., Jin, X., Chen, Z. (2017). A facile and green preparation of reduced graphene oxide using Eucalyptus leaf extract. *Appl Surf Sci*. 422, 469-474.
- [21] Thakur, S. ve Karak, N. (2015). Alternative methods and nature-based reagents for the reduction of graphene oxide: A review. *Carbon*. 94, 224-242.
- [22] Zhang, J., Yang, H., Shen, G., Cheng, P., Zhang, J., Guo, S. (2010). Reduction of graphene oxide via L-ascorbic acid. *Chem Commun (Camb)*. 46(7), 1112-4.
- [23] Pei, S. ve Cheng, H. M. (2012). The reduction of graphene oxide. *Carbon*. 50(9), 3210-3228.
- [24] Fernandez-Merino, M.J., Guardia, L., Paredes, J., Villar-Rodil, S., Solis-Fernandez, P., Martinez-Alonso, A., Tasco, J. M. D. (2010). Vitamin C Is an Ideal Substitute for Hydrazine in the Reduction of Graphene Oxide Suspensions. *J Phys Chem C*. 114, 6426-6432.
- [25] Cai, G., Xu, Z., Yang, M., Tang, B., Wang, X. (2017). Functionalization of cotton fabrics through thermal reduction of graphene oxide. *Appl Surf Sci*. 393, 441-448.
- [26] Karimi, L., Yazdanshenas, M. E., Khajavi, R., Rashidi, A., Mirjalili, M. (2015). Functional finishing of cotton fabrics using graphene oxide nanosheets decorated with titanium dioxide nanoparticles. *J Text I*. 107(9), 1122-1134.
- [27] Krishnamoorthy, K., Navaneethaiyer, U., Mohan, R., Lee, J., Kim, S. J. (2011). Graphene oxide nanostructures modified multifunctional cotton fabrics. *Applied Nanoscience*. 2(2), 119-126.
- [28] Sahito, I.A., Sun, K. C., Arbab, A. A., Qadir, M. B., Jeong, S. H. (2015). Graphene coated cotton fabric as textile structured counter electrode for DSSC.

Electrochim Acta. 173, 164-171.

[29] Shateri-Khalilabad, M. ve Yazdanshenas, M. E. (2013). Preparation of superhydrophobic electroconductive graphene-coated cotton cellulose. *Cellulose.* 20(2), 963-972.

[30] Sahito, I.A., Sun, K. C., Arbab, A. A., Qadir, M. B., Jeong, S. H. (2015). Integrating high electrical conductivity and photocatalytic activity in cotton fabric

by cationizing for enriched coating of negatively charged graphene oxide. *Carbohydr Polym.* 130, 299-306.

[31] Aslam, M., Kalyar, M. A. ve Raza, Z. A. (2016). Synthesis and structural characterization of separate graphene oxide and reduced graphene oxide nanosheets. *Mater Res Express.* 3(10).

Investigation of Ferromagnetism and Growth Correlation of Transition Metal Doped ZnO

Geçiş Metali Katkılı ZnO'nin Ferromanyetizma ve Büyüme Korelasyonunun İncelenmesi

Fatma SARF¹ , Elif AŞIKUZUN² , Emin YAKAR³ 

¹*Çan Vocational School, Çanakkale Onsekiz Mart University, 17020, Turkey*

²*Metallurgical and Materials Engineering Department, Kastamonu University, 37100, Turkey*

³*Materials Science and Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, 17020, Turkey*

Abstract

In this study, a series of 3d transition metal (TM) (Co, Ni and Fe) doped ZnO particles synthesized by simple co-precipitation method. Structural, morphological and magnetic properties were investigated to determine correlation between growth process and ferromagnetism of metal doped ZnO samples. All samples had ZnO hexagonal würtzite structure and slightly shift of ZnO indexed peaks was observed by TM incorporation in ZnO. Although ZnO samples had granular forms, agglomerative forms had emerged in TM:ZnO samples due to the fast growth process. The pure ZnO sample transformed paramagnetic to ferromagnetic by TM incorporation due to carrier mediated exchange interaction between TM ions. The results demonstrated that doping with Fe³⁺ ions in ZnO structure had enhanced ferromagnetism although fast growth and high particle agglomeration.

Keywords: ZnO, transition metal, co-precipitation, structural, ferromagnetic

Öz

Bu çalışmada, bir dizi 3d geçiş metali (TM) (Co, Ni ve Fe) katkı ZnO parçacıkları basit çöktürme yöntemi ile sentezlenmiştir. GM katkı ZnO örneklerinin manyetik özelliklerini incelemek için yapısal, morfolojik ve manyetik çalışmalar yapılmıştır. Kimyasal bileşimde Zn, O ve katkı elementlerin yüzdesi elementel analiz tarafından doğrulandı. Katkılı iyonlar Zn²⁺ iyonları ile ikame edilirken, ZnO yapısındaki dramatik değişim GM katkısı ile saptandı. Yüzey morfolojilerinden nanokümlerin oluşumu gösterildi. FTIR spektrumu, saf ve GM katkı ZnO oluştuğunun bir kanıtıdır. GM iyonları arasındaki değişim etkileşimi nedeniyle Fe, Ni ve Co katkısı ile paramanyetik durumdan ferromanyetizme saf ZnO örneği geçmiştir. Fe: ZnO örnekleri ZnO kristal kalitesini düşürmüş ve yığılma yüzey görüntüleri tespit edilmiş olsa da, ferromanyetizmanın ZnO'ya Fe katkısı ile artması ilginçtir.

Anahtar Kelimeler: ZnO, geçiş metali, çöktürme, yapısal, ferromanyetik

I. INTRODUCTION

As a metal oxide, ZnO is an attractive material that used in the opto-electronic devices [1], gas- and bio-sensors [2,3], photocatalysis devices [4] and magnetic devices [5] with unique properties such as high chemical and physical stabilization, wide optical band gap (~3.7 eV) and abundant in nature. Microstructures and nanostructures have been preferred more than their bulk counterparts because of their finite size effect and high surface to volume ratio. Doping of ZnO structure is effective way with metals, non-metals and vacancy-defect atoms to arrangement electron transport and tailor Fermi energy levels [6]. Among them as a diluted magnetic semiconductor, ZnO is so important due to its electronic controlled spin properties in order to develop spintronic devices [7], magnetically targeted drug delivery systems [8] and nonvolatile magnetic memory devices [9].

In the practical applications, the long-term magnetization of ZnO structures can be enhanced appropriately by using single cationic/anionic atoms so new electron trap levels can arise [10]. Theoretical studies have been proven that doping with partially filled 3d transition metal (TM) ions with unpaired electrons to obtain residual room temperature ferromagnetism of ZnO [11]. Permanent ferromagnetism can be obtained by method and method parameter arrangement however un-control growth process and depending on this unpredictable impurities and surface defects are crucial problems. Particle growth is difficult to control, including optimization of particle sizes and their shapes and agglomerative formations reduce in the co-precipitation. This procedure is similar with graphene oxide nanoparticle synthesis [12].

Recently, TM doped ZnO structures and their ferromagnetism have been investigated extensively. Wang et.al. reported that Zn_{1-x}Ni_xO nanorod arrays exhibited room temperature ferromagnetism with a strong coercive field [13]. Zong et. al. synthesized that different concentrated Co doped ZnO nanoparticles showed that magnetization

saturation curves, indicating formation of oxygen defect induced bound magnetic polarons [14]. Beltran et.al. investigated that Fe was not effective directly in room temperature ZnO ferromagnetism although additional single charged oxygen vacancies, zinc vacancies, and more oxygen-ended polar termination influenced magnetization with Fe doping [15].

While there are a lot of TM doped ZnO studies in the literature the phenomenon between ferromagnetism and the growth process has been still controversial. Therefore, structural and magnetic properties of TM:ZnO were investigated in detail.

II. EXPERIMENTAL

Zinc chloride, sodium hydroxide (99%) and cobalt (II) chloride hexahydrate (99%) were purchased from Merck Company and ethylene glycol (99%), iron (II) sulfate heptahydrate (99%) and Ni (II) chloride hexahydrate (99%) were supplied by Sigma Aldrich Company. Zinc chloride, ethylene glycol and sodium hydroxide were used as zinc source, polymerization agent and complex agent, respectively. To prepare the particles, 0.5 M zinc chloride was added in 100 ml distilled water and mixed on the magnetic stirrer. Then 0.1 M metal source added into solution to obtain TM:ZnO solution. After 0.4 M sodium hydroxide and 10 ml ethylene glycol added and homogeneous solution was obtained. Aqueous solution was mixed at 80 °C along 1 hour. After one day waiting, they were washed with distilled water, ethanol and acetone. Dried powders were annealed at 500 °C along 2 hours in the furnace to remove surface impurities.

III. ANALYTICAL INVESTIGATION

The crystal structures and structural parameters of the microparticles were determined by Rigaku SmartLab X-ray diffractometer, employing $\lambda_{CuK\alpha} = 1.5406 \text{ \AA}$ radiation with 0.0130 step size which was operated under 40 mA and 45 kV, using powder method. The surface morphology and elemental analysis (wt %) of the microparticles were detected by JEOL JSM-7100F-SEM (scanning electron microscope) and OXFORD Instruments X- Max EDX (energy-dispersive x-ray spectrometer), which had been attached to each other. To detect chemical bonding of samples, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrum) were monitored by VERTEX 70 model spectrophotometer with an attenuated total reflectance (ATR) Bruker, Germany. Magnetization properties of samples were investigated Lake Shore 7407 model vibrating sample magnetometer (VSM) device was used. The magnetic field was applied as 1 T in parallel to the sample surface. All measurements were performed at room temperature.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Elemental Analysis Results

Homogeneous regions from SEM images were selected

and these regions were used to determine elemental analysis of the samples as showed in Fig.1. All samples different percentages (w%) of zinc, oxygen species while doped samples also had their own metal elemental percentage (w%). While doping ratio was kept the same, elemental Zn and metal dopant percentage (w%) changed, indicating solubility limit of TM in ZnO were different from each other.

4.2. Structural Properties

In the range of $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$, XRD patterns of the samples were shown in Fig.2. All of the samples were polycrystalline hexagonal wurtzite ZnO structure which corresponding to JCPDS Card No: 36-1451 and they had (101) preferential orientation [16]. As seen in Fig. 2, no secondary phase or cluster of Co, Ni or Fe was observed, indicating that high quality material formed [17]. It could be concluded that required structural stability for magnetic applications had been achieved. Structural parameters of the samples were showed in Table 1. As seen in Table 1, XRD patterns of TM doped samples slightly shifted which indicated that imperfections were formed [18]. Ni- and Co-doping had an improving effect on the crystal quality compared to pure ZnO due to larger radius of Fe^{2+} ion (77 pm) than Zn^{2+} (72 pm) [19]. Due to the zinc and TM (Ni- and Co-) solutions were of the same chlorine origin, growth process thereby crystallization had also been improved [20].

4.3. Surface Morphologies

Surface morphology of the samples were showed in Fig.3 (a-e) at high magnification ratio ($\times 30000$). While pure ZnO surface had granular forms, relatively different non-uniform granular shaped forms were observed with TM ion type. It was known that surface morphology was affected by the reactant initial concentration so growth process could be different [21]. According to this, growth of Fe:ZnO faster than Co:ZnO and Ni:ZnO due to high agglomerative forms on the ZnO surface. Granular ZnO forms had between 0.68 μm and 0.92 μm and their dimension decreased with Co- and Ni- doping which was indicated that it was consistent with increasing crystallinity of ZnO from obtained XRD patterns.

4.4. FTIR Spectrum of the Samples

The FTIR spectra is useful method to determine chemical composition of the samples. FTIR spectra of pure and TM doped ZnO particles were depicted between in 500 cm^{-1} and 4000 cm^{-1} at room temperature in Fig.4. The broad peak at $\sim 3450 - 3500$ range was assigned to O-H stretching mode of hydroxyl group which showed that emerging water absorbed on the surface of ZnO, causing agglomerative formations [22]. The weak peak at $\sim 2365 \text{ cm}^{-1}$ was related atmospheric carbon dioxide which formed in the synthesis process [23]. A weak peak was observed at ~ 1635 was due to asymmetric stretching of the zinc carboxylate. All samples had different impurity-based

peaks in the range between 600-1200 cm^{-1} , indicating TM clusters on the ZnO surface [24]. The bond between 500–550 cm^{-1} was associated with stretching vibration mode of ZnO samples [25].

4.5. Magnetic Properties

Vibrating sample magnetometer (VSM) was used to determine the magnetization properties of the samples. Fig.5(a) illustrated the dependence of magnetic field (H, between the field -2 T and +2 T) on the magnetization (M) at room temperature for ZnO and Fe, Ni, Co doped ZnO samples. The M values changed depending on the doped transition metals. It was understood from Fig. 5a. that ZnO was diamagnetic in nature at room temperature that can be associated with the uncompensated Zn^{2+} surface spin [26]. For the Fe, Ni and Co doped samples, the hysteresis loops display a straight line, indicating the ferromagnetic contribution without saturation, which is commonly observed in magnetic systems [27-29]. The ferromagnetic contribution for these samples can be observed with more detail in the Fig.5b. The coercivity values for the Fe-ZnO, Co-ZnO and Ni-ZnO samples are 8.4017 Oe, 49.33 Oe and 40.42 Oe respectively. Coercivity is a complicated parameter for magnetic materials and is related to the reversal mechanism, anisotropy energy, and the magnetic microstructure, i.e., shape and dimensions of the crystallites, nature of the boundaries, and also the surface and initial layer properties, etc.. The observed increase in coercivity of Co-doped zinc oxide could be due to the presence of large anisotropy energy for Co [30].

V. CONCLUSION

In summary, Co, Ni and Fe doped ZnO particles were produced by the co-precipitation and annealed at 500 °C along 2 hours. According to the x-ray diffraction patterns Co^{2+} , Ni^{2+} and Fe^{3+} ions were occupied Zn^{2+} tetrahedral sites substantially. SEM images exhibited that agglomerative formations were observed by TM doping due to fast growth in calcination although sedimentation was not observed in graphene based nano-fluids [32]. M-H measurements revealed that ZnO was transformed from paramagnetic to ferromagnetic state by Fe, Ni and Co doping. The stable ferromagnetism was observed in Fe:ZnO sample which indicated that fast growth process caused increase of Fe clusters on the ZnO surface so surface impurities increased. Ferromagnetism weakened with Ni and Co doping although improved ZnO crystallinity. It could be concluded that Fe:ZnO particles were relative proper for spintronic applications.

REFERENCES

[1] Acharya S, Biswal S.K., Sarangi S.N., (2019). Effect of structure and morphology on the UV photo detection of ZnO nanostructures and microstructures. *Chemical Physics.*, 523, 99-105.
 [2] Özütok F, Demiri S., (2017). Nanoflower-Like ZnO Films Prepared By Modified Chemical Bath

Deposition: Synthesis, Optical Properties And NO₂ Gas Sensing Mechanism, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 12 (2), 309-317.

[3] Cao L, Kiely J, Piano M, Luxton R., (2019). Copper Oxide/Zinc Oxide Composite Nano Surface for Use in a Biosensor, *Materials*, 12(7), 1126.

[4] Hernandez M.R. and et.al, (2019). Hollow ZnO microspheres functionalized with electrochemical graphene oxide for the photodegradation of salicylic acid, *Rsc. Adv.*, 9, 6965-6972.

[5] Machovsky M., Kuritka I., Kozakova Z., (2012). Microwave assisted synthesis of nanostructured Fe₃O₄/ZnO microparticles, *Materials Letters*, 86,136-138.

[6] Özütok F., Er I.K., Acar S., Demiri S., (2019). Enhancing the CO gas sensing properties of ZnO thin films with the decoration of MWCNTs. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics*, 30, 259-265.

[7] Kaps S. and et.al., (2017). Piezoresistive Response of Quasi-One-Dimensional ZnO.Nanowires Using an in Situ Electromechanical Device. *ACS Omega*, 2(6), 2985–2993.

[8] Mala N and et.al., (2016). Formation of hexagonal plate shaped ZnO microparticles –A study on antibacterial and magnetic properties, *Ceramics International*, 42(6), 7336-7346.

[9] Bellingeri E., Rusponi S., Lehnert A, Brune H., Nolting F., Leveratto A., Plaza A., Marre D., (2019). Influence of free charge carrier density on the magnetic behavior of (Zn,Co)O thin film studied by Field Effect modulation of magneto- transport, *SCIENTIFIC REPORTS*, 9(149), 1-12.

[10] Qi K., Xing X., Zada A., Li M., Wang Q., Liu S., Lin H., Wang G., (2019). Transition metal doped ZnO nanoparticles with enhanced photocatalytic and anti-bacterial performances: Experimental and DFT studies, *Ceramics International*, 46(2), 1494-1502.

[11] Agarval D.C. Singh U.B., [Gupta S.](#), [Singhal R.](#), [Kulriya P. K.](#), [Singh F.](#), [Tripathi A.](#), [Singh J.](#), [Joshi U. S.](#), [Avasthi D. K.](#), (2019). Enhanced room temperature ferromagnetism and green photoluminescence in Cu doped ZnO thin film synthesised by neutral beam sputtering, *SCIENTIFIC REPORTS*, 9, 6675-6687.

[12] Karabulut K., Buyruk E., Kilinc F., (2020). Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(230),.

[13] Wang W., (2019). Fabrication and Study on Magnetic-Optical Properties of Ni-Doped ZnO Nanorod Arrays, *Micromachines*,10(9), 622 .

[14] Zong Y., Sun Y., Meng S., Wang Y., Xing Z., Li X., Zheng X., (2019). Doping effect and oxygen defects boost room temperature ferromagnetism of Co-doped ZnO nanoparticles: experimental and theoretical studies, *RSC Adv.*, 9, 23012- 23020.

[15] Beltrán J.J., Barrero C., Punnoose A., (2015).

Understanding the role of iron in the magnetism of Fe doped ZnO nanoparticles, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17, 15284-15296.

[16] Ghosh B, Benecha E.M., Ray S.C., Sarma S., Pong W.F., Strydom A.M., Wu J.J., (2018). ZnO nanorods decorated with nanocrystalline (nc) Au Particles:Electronic structure and magnetic behaviours. *Journal of Alloys and Compounds*, 797, 71-82.

[17]Ashokkumar M., Muthukumaran S., (2015). Enhanced room temperature ferromagnetism and photoluminescence behavior of Cu-doped ZnO co-doped with Mn, *Physica E*, 69, 354-358.

[18] Djerdj I, Jaglicic Z, Arcon D, Niederberger M., (2010). Co-Doped ZnO nanoparticles: Minireview. *Nanoscale*, 2, 1096-1104.

[19] Asikuzun E, Ozturk O, Arda L, Terzioglu C., (2018). Preparation, growth and characterization of nonvacuum Cu-doped ZnO thin films, *J. Molec. Struct.*, 1165: 1-7, 17.

[20] Asikuzun E, Ozturk O, Arda L, Tasci AT, Kartal F, Terzioglu C., (2016). High-quality c-axis oriented non-vacuum Er doped ZnO thin films. *Cer. Inter.*,42, 8085-8091.

[21] Thanh N.T.K., Maclean N., Mahiddine S., (2014). Mechanisms of Nucleation and Growth of Nanoparticles in Solution, *Chem. Rev.*, 114 (15),7610-7630.

[22] Rodríguez-González B., Vereda F., Vicente J., Hidalgo-Álvarez R., (2013). Rough and Hollow Spherical Magnetite Microparticles: Revealing the Morphology, Internal Structure, and Growth Mechanism, *J. Phys. Chem.*, 117 (10), 5397–5406.

[23] Sajjad M., Ullah I., Khan M.I., Khan J., Khan M.Y., Qureshi M.T., (2018). Structural and optical properties of pure and copper doped zinc oxide nanoparticles, *Results in Physics*, 9, 1301-1309.

[24]Thangeeswari T., George A.T., Kumar A.A., (2016). Optical Properties and FTIR Studies of Cobalt Doped ZnO Nanoparticles by Simple Solution Method, *Indian Journal of Science and Technology*, 9(1), 4p.

[25] Bhakta N., Chakrabarti P.K., (2019). Defect induced room temperature ferromagnetism and optical properties of (Co, Y) co-doped ZnO nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 485, 419-426.

[26] Wang, J., Wan, J., & Chen, K., (2010). Facile synthesis of superparamagnetic Fe-doped ZnO nanoparticles in liquid polyols. *Materials Letters*, 64(21), 2373–2375.

[27] Beltrán J. J., Barreroa C. A., Punnoose A., (2015). Understanding the role of iron in the magnetism of Fe doped ZnO nanoparticles. *Phys.Chem.Chem.Phys.* 17, 15284.

[28] Pascariu P., Tudose I. V., Sucheana M., Koudoumas E., Fifere , N. Airinei A., (2018). Preparation and characterization of Ni, Co doped ZnO nanoparticles for photocatalytic applications, *Appl. Surf. Sci.*, 448, 481.

[29] Sharma D., Jha R., (2017). Analysis of structural, optical and magnetic properties of Fe/Co co-doped

ZnO nanocrystals, *Ceram. Int.* 43, 8488.

[30] Azab A. A., Ateia E. E., Esmail, S. A. (2018).Comparative study on the physical properties of transition metal-doped (Co, Ni, Fe, and Mn) ZnO nanoparticles, *Applied Physics A*, 124(7).

[31] Adeagbo W.A., Fischer G., Ernst A. Hergert W., (2010). Magnetic effects of defect pair formation in ZnO, *Journal of Physics: Condensed Matter*, 22(43).

[32] Kılınc F., Buyruk E., Karabulut K., (2020). Experimental investigation of cooling performance with graphene based nano-fluids in a vehicle radiator, *Heat and Mass Transfer*, 56, 521-530.

TABLES AND FIGURES

List of Tables:

Table 1 – Structural parameters of ZnO and TM doped ZnO samples.

List of Figures:

Fig. 1 – EDX results of the samples a) un-doped ZnO, b) Ni-doped ZnO, c) Fe-doped ZnO and d) Co-doped ZnO.

Fig. 2 – XRD patterns of the ZnO and TM-doped ZnO samples.

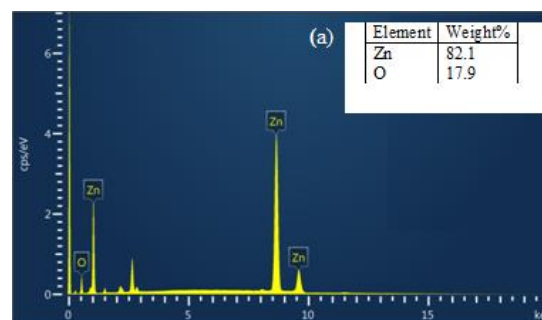
Fig. 3 – SEM images of a) pure ZnO, b) Co doped ZnO, c) Fe doped ZnO and d) Ni doped ZnO samples.

Fig. 4 – FTIR spectra of ZnO, Ni-ZnO, Fe-ZnO and Co-ZnO nanoparticles, respectively from up to down.

Fig. 5 – Magnetization curves of (a) the ZnO and TM-doped ZnO samples, (b) enlarged region.

Table 1. Structural parameters of ZnO and TM doped ZnO samples

	2θ (°)	FWHM (rad)	d (Å)	Lattice parameters (Å) (a and c)	Strain (ε)
ZnO	36.92	0.0021	2.4362	3.24, 5.13	-0.013
Ni:ZnO	36.63	0.0022	2.4511	3.21, 5.14	-0.011
Fe:ZnO	36.71	0.0026	2.4477	3.20, 5.13	-0.013
Co:ZnO	36.80	0.0033	2.4419	3.20, 5.12	-0.015



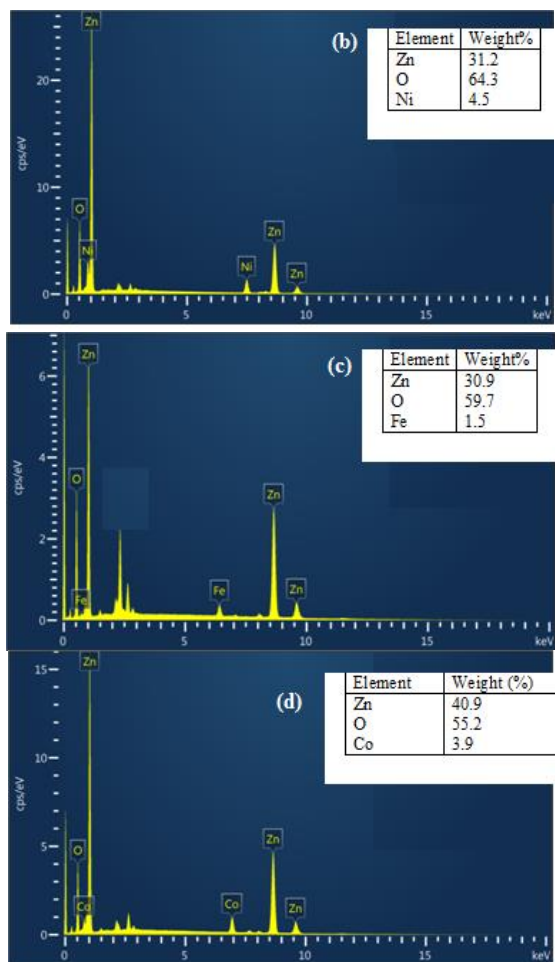


Fig. 1. EDX results of the samples a) un-doped ZnO, b) Ni-doped ZnO, c) Fe-doped ZnO and d) Co-doped ZnO

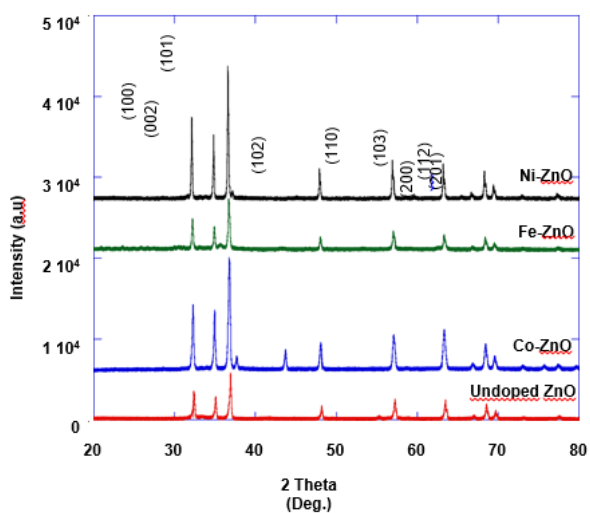


Fig. 2. XRD patterns of the ZnO and TM-doped ZnO samples

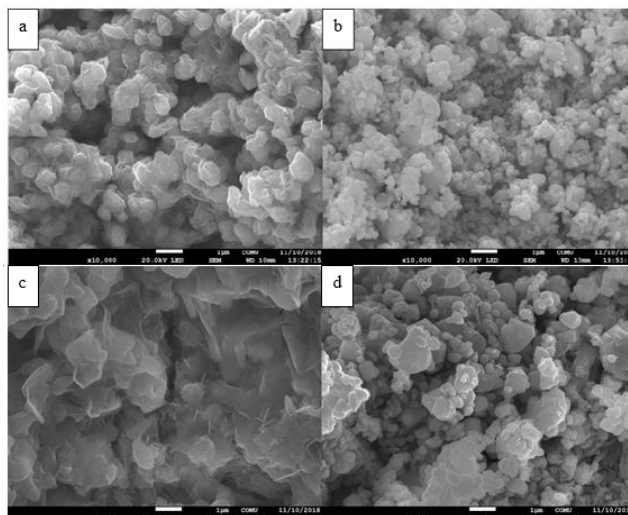


Fig. 3. SEM images of a) pure ZnO, b) Co-doped ZnO, c) Fe-doped ZnO and d) Ni-doped ZnO samples

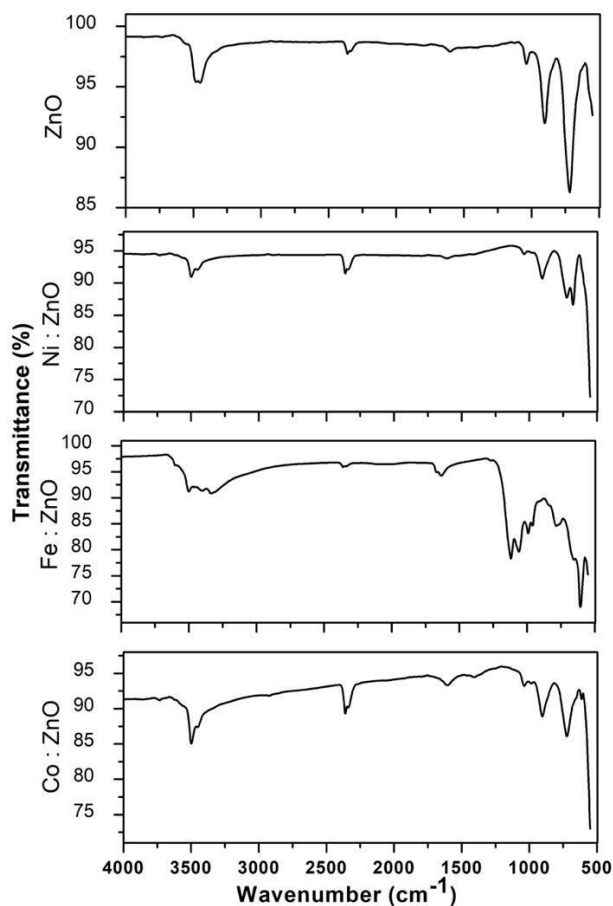


Fig. 4. FTIR spectra of ZnO, Ni-ZnO, Fe-ZnO and Co-ZnO nanoparticles, respectively from up to down

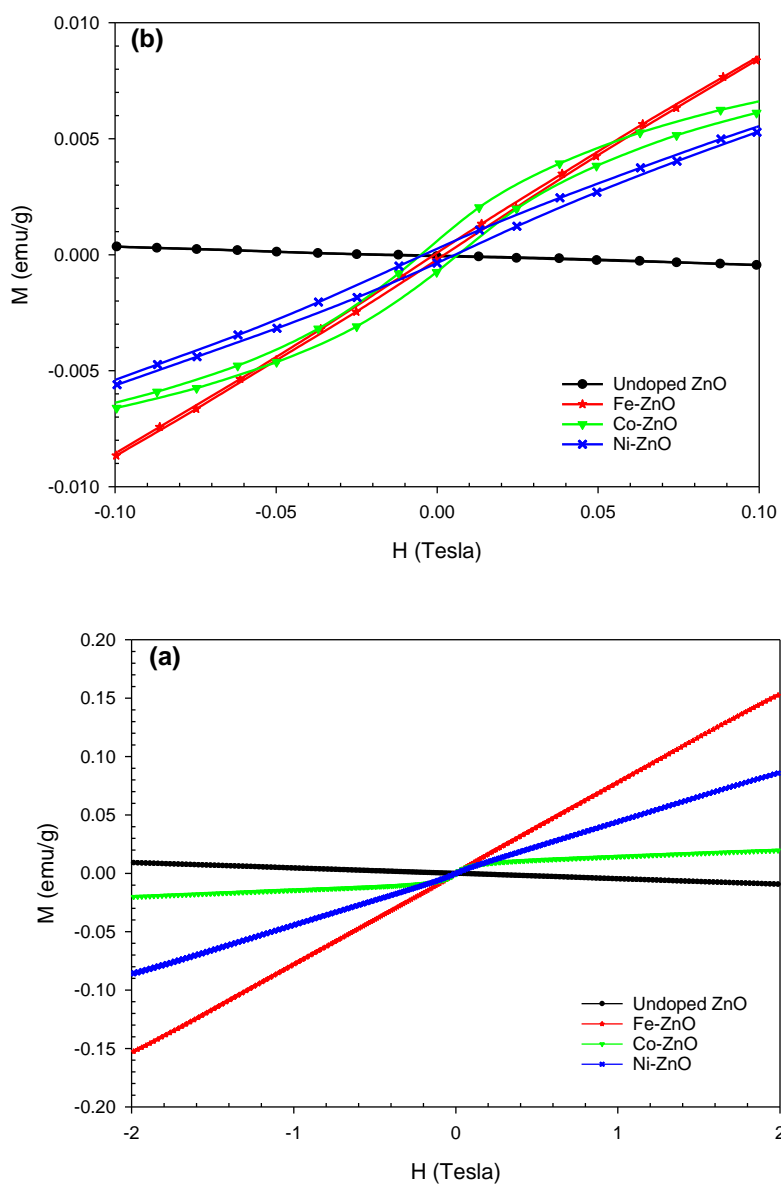


Fig.5. Magnetization curves of (a) the ZnO and TM-doped ZnO samples, (b) enlarged region

Numerical Examination of Heat Exchanger Shape Effects on Thermal Efficiency In Air to Air Plate Type Heat Recovery Unit

Havadan Havaya Plakalı Tip Isı Geri Kazanım Cihazlarında Isı Değiştiricisi Geometrisinin Isıl Verimlilik Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Hasan SAVAT¹ , Mustafa ATMACA² 

¹ Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 34722, İstanbul, Türkiye
² Marmara Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Abstract

Energy needs and consumption in the world is increasing steadily. For this reason, the importance of reducing energy consumption and using energy more efficiently increases day by day. Hence, energy efficiency has great importance both economically and for the protection of nature.

Heat recovery device is a system that needs ventilation and can be used to save energy (reduce energy consumption) in all areas of different temperatures (home, office, cinema, shopping mall, conference room, etc.) with the outdoor environment. This device can save a significant amount of energy from heating and cooling processes by transferring heat between the exhaust air and the fresh air.

The most widely used type of this device is a plate heat exchanger. In this system, heat transfer is carried out without allowing to blend the exhaust air and the fresh air. In this study, the aim is to increase the thermal efficiency of the device. The geometry of the heat exchanger was changed to increase the amount of heat transfer.

For this purpose, the current model was created in computer environment and computer simulations were made through the ANSYS-Fluent program. Then the new models with different geometries were created in the computer environment and simulations were made on these models using the same method. The current model and the new models have been compared in terms of thermal efficiency.

Key Words: Heat recovery, energy efficiency, heat transfer, heat exchanger, ventilation system, CFD

Öz

Dünyada enerji ihtiyacı ve tüketimi giderek artmaktadır. Bu sebep ile enerji tüketimini azaltmak ve enerjiyi daha verimli kullanılmak her geçen gün daha önem kazanmaktadır. Bu sebeple enerji verimliliği gerek ekonomik gerekse doğanın korunması açısından büyük önem taşımaktadır.

Isı geri kazanım cihazı, havalandırılma ihtiyacı olan, dış ortamla farklı sıcaklıktaki tüm mahallerde (ev, ofis, sinema, AVM, Konferans salonu vb.) enerji tasarrufu sağlamak (enerji tüketimini azaltmak) için kullanılabilen bir sistemdir. Bu cihaz dışarı atılacak hava ile iç ortama alınacak hava arasında ısı transferi yaparak, ısıtma ve soğutma işlemlerinden ciddi oranda tasarruf ve enerji kazancı sağlayabilmektedir.

Bu cihazın en yaygın kullanılan türü plakalı ısı değiştiricili olanıdır. Bu sistemde ısı transferi dışarı atılan kirli hava ile içeri alınan temiz hava arasında 2 havanın karışmasına izin verilmeden yapılmaktadır. Bu çalışmada cihazın, ısıl verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bunun için kullanılan ısı değiştiricisinin geometrisi değiştirilerek ısı transferi artırılmak istenmiştir.

Bunun için mevcut olan model sanal ortamda (bilgisayar ortamında) oluşturularak, ANSYS-Fluent programı vasıtasıyla bilgisayar benzetimleri (simülasyonları) yapılmıştır. Sonrasında bilgisayar ortamında farklı geometrilerle sahip yeni modeller oluşturulmuş ve aynı metod kullanılarak bu modeller üzerinde benzetimler (simülasyonlar) yapılmıştır. Yeni modellerin mevcut model ile ısıl verimleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isı geri kazanımı, enerji verimliliği, ısı transferi, ısı değiştiricisi, havalandırma sistemi, HAD

I. INTRODUCTION

Energy efficiency has a great importance today because of its economic importance and it can slow down or even prevent global warming. In order to prevent the effects of global warming, a study found that; one of the effective methods that can be used is to increase energy efficiency [1]. Energy efficiency is possible with minimizing energy losses without reducing quantity and quality.

Heat recovery device is a system that can be used to save energy by utilizing waste heat in all locations (home, office, cinema, shopping mall, conference room, etc.) that need ventilation at different temperatures with external environment. This device can save a significant amount of heat and energy from heating and cooling processes by transferring heat between the air to be ejected and the air to be taken into the interior. Pamir [2] talked about the importance of saving energy and reducing energy consumption. Another study mentioned the importance of energy efficiency and what can be done about it [3]. In his study, Satman [4] touched on the effects of energy efficiency on the economy and suggest the importance of the steps to be taken and the vision in this regard.

Şahan examine, the usage of different shapes air to air heat recovery exchanger using, in his study. He said these systems are aimed at providing a business economy and that the right system will provide economic profitability in the long term [5].

Şentürk and his colleagues [6] have done experimental and numerical work of a heat recovery ventilation device. They have confirmed the numerical results with the experimental results. Simulations; they were carried out with ANSYS Fluent software.

Heat recovery in air conditioning systems has three important advantages besides increasing energy efficiency:

1. Thanks to the restored heat, the external air load required to bring the interior environment to comfort conditions is significantly reduced. This reduces the amount of energy expended for air conditioning, saves money.
2. The initial investment cost can be reduced if both the capacities of the components used in the air conditioning system are reduced and there is no need for humidification and dehumidification components.
3. Decreasing external air load makes the use of fresh air devices are more reasonable. Thus, the superiority is achieved in ensuring the quality of internal air [7].

This operation was done for heat recovery device with plate heat exchanger. The fig.1. includes installation view and internal structure view of the device in its operating position.

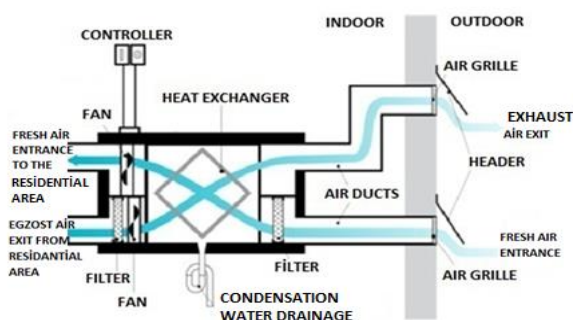


Fig.1. Installation and internal structure of the device in operation position [8]

In this study, the heat exchanger of the device' thermal efficiency; numerically was examined. New heat exchanger models were created, numerically examined with the same method and compared with the current model.

II. MATERIAL AND METHOD

The heat exchanger used in the device was created in a computer through Solidworks program.

This heat exchanger includes of 108 lamellas overlapping. One of these lamellas is seen in fig.2.

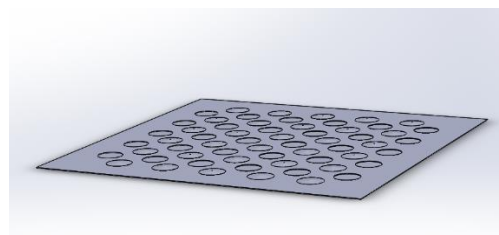


Fig.2. Lamella

The lamellas were rotated and lined up to overlap and the lower-upper covers and slats were added to the model. Computer generated of the model, is seen in Fig.3.



Fig.3. Current Model

The heat exchanger, which will be simulated by the computer, has a geometry that repeats itself periodically. For this reason, the simulation of only one of the repeated shapes and the whole will give the same result.

Because geometry is made up of complex and small units, the mesh network to be created on the whole model will be extremely complex and the processing power required for computer simulation will be at a very high level. For this reason, apart from not being able with existing devices, it will cause an unnecessary waste of process.

One of the pieces which geometry is divided periodically is examined. Periodic region is seen in fig.4.



Fig.4. One of The Periodic Piece

The relevant flow area, where hot and cold air pass through the periodic zone, has been added and mesh networking has been started in order to make computer simulation. Images can be seen from the established mesh network in Fig.5. The established mesh network was prepared through the mesh module owned by the Ansys program.

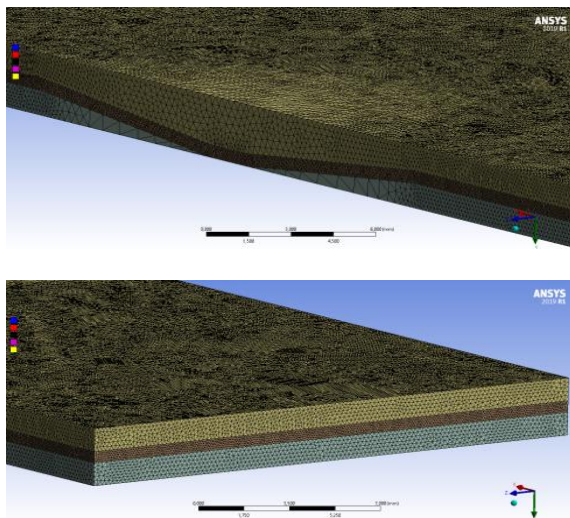


Fig. 5. View of Mesh Network

The details and features of the established mesh network are seen in fig.6.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Use Geometry Setting
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
Element Size	10, mm
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
Sizing	
Use Adaptive Sizing	No
Growth Rate	Default (1,2)
Max Size	Default (20, mm)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default (5,e-002 mm)
Capture Curvature	Yes
Curvature Min Size	Default (0,1 mm)
Curvature Normal Angle	Default (18,°)
Capture Proximity	Yes
Proximity Min Size	Default (0,1 mm)
Num Cells Across Gap	6
Proximity Size Function Sou...	Faces and Edges
Bounding Box Diagonal	300,85 mm
Average Surface Area	397,35 mm ²
Minimum Edge Length	0,5 mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Target Skewness	0,8
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
Min	4,9516e-002
Max	1,
Average	0,83672
Standard Deviation	8,2991e-002
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Assembly Meshing	
Method	None
Advanced	
Number of CPUs for Paralle...	4
Straight Sided Elements	
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Default (9,e-002 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	6500042
Elements	33184738

Fig.6. Mesh Details

The mesh network has been transferred to the Fluent Module of the ANSYS program and the energy option has been switched from off to on for the Fluent module is requested to include thermal data in the simulation. The mathematic model was selected as k-epsilon model realizable, Near Wall treatment: Standard Wall Function [9] [10]. For material information, fluid as air and solid as aluminum were defined. Inlet, outlet (pressure outlet), wall and symmetry are defined, and air speed is calculated by dividing the total flow rate into the inlet surface area of the heat exchanger; 6.9m/s. Turbulent intensity: 5%, turbulent viscosity ratio: 10%

[11]. By entering the input temperatures of the air, the computer was simulated through the module. The temperature distribution obtained as a result of this process is located at Fig.7. The results are consistent with the values provided by the manufacturer.

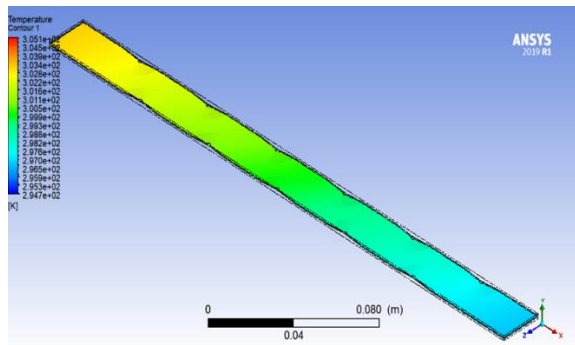


Fig.7. Temperature Distribution

While creating new models, the exterior dimensions, exterior geometric forms and lamella ranges of the models remained the same. These changes are to change the protrusions on the conical lamellae in the current model to be cylinder, rectangular prism and hexagonal prism. View of periodic regions of the generated models is seen in Fig.8.

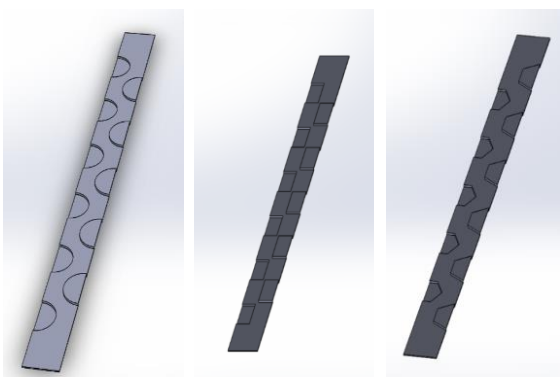


Fig.8. Periodic Region Views of Models

Computer simulation operations of all models were performed using the same method as the current model. Obtained temperature distribution is seen in Fig.9.

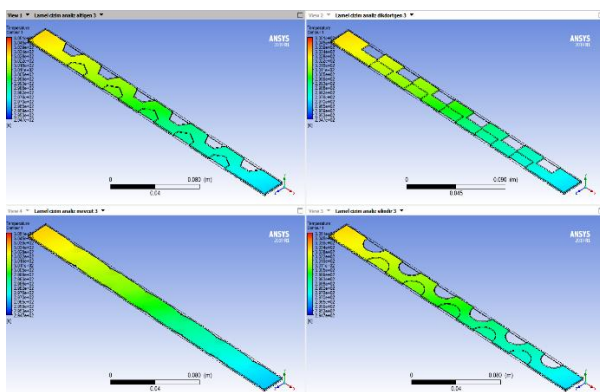


Fig.9. Temperature Distribution of Models

III. RESULTS

The temperature values obtained as a result of computer simulation are in the table 1.

Table 1. Temperature Values Obtained as a Result of Simulation

	Current Model	Cylinder Model	Rectangle Model	Hexagon Model
Air Flow (m ³ /h)	800	800	800	800
Tei (°C)	32	32	32	32
Tfi (°C)	21,6	21,6	21,6	21,6
Tfo (°C)	26,9	27,3	27,3	27,2

$$Thermal\ Efficiency = (T_{fo} - T_{fi}) / (T_{ei} - T_{fi}) [12] \quad (1)$$

Tfo, Tfi and Tei are the inlet and output temperatures for the relevant locations of the air. Temperature values in "°C".

Tfo: Fresh air outlet temperature

Tfi: Fresh air inlet temperature

Tei: Exhaust air inlet temperature [12]

Thermal efficiency values calculated by equation 1 are shown in table 2.

Table 2. Comparison of Thermal Efficiency Values

	Current Model	Cylinder Model	Rectangle Model	Hexagon Model
Air Flow (m ³ /h)	800	800	800	800
Tei (°C)	32	32	32	32
Tfi (°C)	21,6	21,6	21,6	21,6
Tfo (°C)	26,9	27,3	27,3	27,2
Thermal Efficiency (%)	51	55	55	54

IV. CONCLUSION

As energy consumption is increasing in line with increasing population and technological developments, the importance of energy efficiency, which has great importance, will increase day by day. Depending on population growth, technological developments and global warming, the increasing use of air conditioning processes will increase energy consumption in this regard day by day.

This study has provided us to obtain important information about energy efficiency and computer simulations in the field of air conditioning systems.

Looking at the numerical working results, the new models that have been created have increased the thermal efficiency compared to the current model. The cylinder and rectangular model increased by 4%, while the hexagonal model increased by 3%. Increasing thermal efficiency means that increasing heat being gained so this is desired situation. However, the new

models have structures that make air passage difficult, they need to be checked before they can be implemented.

The computed results of the numerical work for the current model match the data provided by the manufacturer. This situation confirms the numerical working method. For this reason, the numerical working method can be use in determining the new models to be created in the future.

REFERENCES

- [1] Bayraç, H. N. (2010). Enerji Kullanımının Küresel Isınmaya Etkisi ve Önleyici Politikalar. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 229-259.
- [2] Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6(68).
- [3] Narin, M., & Akdemir, S. (2006). Enerji verimliliği ve Türkiye. *Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*.
- [4] Satman, A. (2007). Türkiye'nin enerji vizyonu. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (s 3), 18.
- [5] Şahan, A. M. Isı Geri Kazanım Eşanjörlerinin Kullanım Opsiyonları.
- [6] Şentürk, U., Altın, M., Açar, G., Aktakka, S., & Toksoy, M. (2015). Bir Isı Geri Kazanım Cihazının Performans Karakteristiklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Belirlenmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 56(667).
- [7] Altın, M., Aktakka, S., Günerhan, H. & Karakoç, T.H. (2013). Farklı İklim Bölgelerine Ait Isıtma-Soğutma Tasarım Sıcaklıklarının Dikkate Alınarak Bir Isı Geri Kazanım Sisteminin Tasarımı. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 1055-70.
- [8] Şentürk, U., Aktakka, S., & Toksoy, M. (2015). Havalandırmada Enerji Geri Kazanımı: Araştırma ve Geliştirme. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 301-327.
- [9] Atmaca, M., & Ezgi, C. (2019). Three-dimensional CFD modeling of a steam ejector. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-12.
- [10] Atmaca, M., Girgin, I., & Ezgi, C. (2016). CFD modeling of a diesel evaporator used in fuel cell systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(14), 6004-6012.
- [11] Atmaca, M., Çetin, B., & Yılmaz, E. (2019). CFD analysis of unmanned aerial vehicles (UAV) moving in flocks. *Acta Physica Polonica A*, 135(4), 694-696.
- [12] Kaya, O. (2013). *Havadan havaya ısı geri kazanım cihazları için ts en 308 standardına göre test düzeneği tasarımı* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

İş Doyumu ile İş Güvenliği Algısı Arasındaki İlişki: İnşaat İşçileri Örneği

The Relationship Between Job Satisfaction and Occupational Safety Perception: Case Study of Construction Workers

Erhan DEMİR¹ , Müge ENSARI ÖZAY² , Rüştü UÇAN² , Hacer KAYHAN² 

¹ *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 24800, Erzincan, TÜRKİYE.*

² *Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34664, İstanbul, TÜRKİYE*

Öz

İnşaat sektörü, iş kazalarının yoğun olarak görüldüğü çok tehlikeli işkollarından biridir. İnşaat sahalarında çalışan işçiler için çalışma alanlarında birçok tehlike ve risk vardır. İnşaat işçilerinin iş güvenliği konusundaki algılarının artırılması, sektördeki iş kazalarının ve iş kazaları sebebiyle oluşan hasarın azaltılması bakımından önem arz etmektedir. İnşaat işçileri arasında yürütülen bu araştırmayla iş doyumu ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişki ve bu ilişki düzeyinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Çalışanların iş doyumu ve iş güvenliği algı düzeylerinin belirlenmesi için anket yöntemi kullanılmış ve 161 inşaat işçisiyle yüz yüze görüşülmüştür. Araştırma için kullanılan anket 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde demografik özellikleri belirlemek için oluşturulan 6 soruya, ikinci bölümde iş doyumu düzeyi için kullanılan Minnesota İş Doyumu Ölçeğine yer verilmektedir. Üçüncü bölümde ise iş güvenliği algı düzeyini belirlemek için kullanılan İş Güvenliği Ölçeği bulunmaktadır. Yapılan araştırma neticesinde toplanan verilerin analizi SPSS 22 istatistik programıyla yapılmıştır. Analizler sonucunda çalışanların iş doyumu seviyesi ile iş güvenliği algısı arasında pozitif yönlü ve çok zayıf bir ilişki bulunduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca iş güvenliği algısı ile yaş grupları arasında anlamlı farklılığın olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 26-35 yaş aralığındaki işçilerin algı düzeylerinin diğer yaş gruplarında bulunan işçilere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: İnşaat; İş doyumu, İş güvenliği, Algı.

Abstract

The construction sector is one of the most dangerous sectors where occupational accidents occur frequently. There exist many hazards and risks in the construction sites for employees. Increasing the perception of construction workers about occupational safety is important in order to decrease the number of occupational accidents in the sector and reduce the damage caused by occupational accidents. This research, which conducted among construction workers aims to reveal the relationship between job satisfaction and job security perception and the level of this relationship. Questionnaire method is used to determine job satisfaction and occupational safety perception of the employees and 161 construction workers were interviewed face to face. The questionnaire consists of 3 sections. In the first part, there are 6 questions created to determine demographic conditions. In the second part, Minnesota Job Satisfaction Scale, which is used to determine the level of job satisfaction is given. In the third part, Occupational Safety Scale is used to determine the level of perception of occupational safety. The data is analyzed by SPSS 22 statistical program. As a result, it is revealed that there exists a very weak and positive relationship between the level of job satisfaction of the workers and their perceptions of occupational safety. In addition, a significant difference is found between the perception of occupational safety and age groups. However, it is found that the perception levels of the workers between the ages of 26-35 are higher than the workers in the other age groups.

Keywords: Construction, Job satisfaction, Occupational safety, Perception.

I. GİRİŞ

Dünya’da ve Türkiye’de değişen ve gelişen ekonomik koşullarda sanayiye yönelik imalat nedeniyle son günlerde en çok gündemde yer alan konulardan biri de iş kazaları ve meslek hastalıklarıdır. Ülkemizde 2012 yılından bu yana yürürlükte olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile devlete, çalışanlara ve tüm kurumlara çok sayıda yükümlülük getirilmiştir. 6331 sayılı kanunla, iş sağlığı ve güvenliği konusunda bir kültür meydana getirilmesi ve iş sağlığı ve güvenliği için örgütsel bir kültürün bütün işyerlerinde hayata geçirilmesi amaçlanmıştır [1].

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de iş kazalarının yoğun görüldüğü sektörler vardır. Bunlardan biri de inşaat sektörüdür. Uluslararası Çalışma Örgütü verilerine bakıldığında inşaat işçileri, diğer işkollarında çalışanlara göre

3-6 kat daha fazla kazaya uğrama riskine sahiptirler [2]. İnşaat sahalarında yürütülen faaliyetler, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 9'uncu maddesine göre oluşturulan Tehlike Sınıfları Listesi'nde belirtilen "Çok Tehlikeli" işkolları arasında yer almaktadır. Ülkemizin inşaat sektöründeki iş kazaları bakımından dünya sıralamasında üst sıralarda bulunması, sektörde çalışan işçilerin eğitim seviyesinin düşük olması ile yakından ilgilidir. Genellikle çalışanlarda bulunan gereğinden fazla cesaret, daha önce hiç iş kazasına uğramama ve bu durumun verdiği rahatlıkla hiç iş kazasına maruz kalmayacağı düşüncesi, tecrübelerine gereğinden fazla güvenme, işinin uzmanı olduğu duygusu gibi düşünceler çalışanların yeterli iş güvenliği bilincine sahip olmadığının göstergeleridir. Ayrıca işyerlerinde iş güvenliği tedbirlerinin alınmaması ve işverenlerin bu tedbirleri maliyet olarak görmesi de sebepler arasındadır. Bunların yanı sıra, meydana gelen iş kazalarından sonra, kaza sebeplerinin kader, şanssızlık, dikkatsizlik ve kaçınılmazlık gibi kavramlara bağlanması, kazaların asıl sebeplerinin araştırılmasına mani olmaktadır [3].

İnşaat sektöründeki çalışma koşullarının ağır olması sebebiyle sıklıkla meslek hastalıkları görülmektedir [4]. İnşaat sektöründeki sağlık riskleri işten işe, işyerinden işyerine, günden güne ve saatten saate farklılık göstermektedir. Çalışanlar sadece yaptığı işten değil, ortamda yapılan diğer işlerden kaynaklı zararlı etkenlere de maruz kalmaktadır. Bu etkenlerin zararları, maruziyet süresine ve maruziyet yoğunluğuna bağlıdır [5].

Çalışanların iş doyumunu belirlemek ve arttırmak örgüt içinde birçok fayda sağlayabilir. İş doyumunu araştırmaları, eğitim ihtiyaçlarının tespit edilmesi, yapılan iş konusundaki genel düşüncenin geliştirilmesi, çalışanların sorunlarının belirlenmesi, değişimin planlanması ve yönetimi, örgüt içi iletişimin düzenlenmesi gibi konuları aydınlatması sebebiyle büyük örgütsel faydalar sağlamaktadır [6]. Güvenlik iklimi ve güvenlik kültürü kavramları ile ilgili farklı görüşler var olmakla birlikte bu kavramlar birbirlerinin yerine de kullanılmıştır [7]. Güvenlik kültürü, işletmenin uzun süreli tecrübe ve uygulamaları, güvenlik iklimi ise günlük değişimler veya uzun süreli kültürün ince detayları olarak değerlendirilebilir [8]. Güvenlik kültürü, daha çekirdek bir yapı iken güvenlik iklimi, bu çekirdeğin bir katmanı olarak tanımlanmaktadır. Araştırmalarda kullanılan yöntemlere bakıldığında, anket uygulamaları için güvenlik iklimi daha uygun bir kavram iken, güvenlik kültürünün belirlenmesi için daha detaylı ve derin araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır [9].

İnşaat işçileri arasında yürütülen bu araştırmayla iş doyumunu ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişki ve bu ilişkinin düzeyinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca bu amaca ek olarak inşaat işçilerinin çeşitli demografik özellikleri ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişki de incelenmiştir. Söz konusu demografik

değişkenler yaş, cinsiyet, medeni durum, aylık gelir, eğitim durumu ve sektördeki çalışma süresidir.

II. MATERYAL VE METOT

Araştırma kapsamında, iş doyum düzeyi farklılık gösteren bireylerin iş güvenliği algıları incelenmiştir. Ayrıca demografik özellikler açısından da değerlendirme yapılmıştır. Tesadüfi örnekleme ile seçilen 5 inşaat sahasında yürütülen çalışmada, işçiler arasında herhangi bir ayırım yapılmamış, tüm çalışanlara ulaşılmaya çalışılmış ve 162 inşaat işçisi araştırmaya katılmayı kabul etmiştir.

2.1. Verilerin Toplanması

Araştırmada, veri toplama aracı olarak araştırmacının oluşturduğu ve 3 bölümden oluşan anket kullanılmıştır. Anketin birinci bölümünü sosyo-demografik sorular oluşturmaktadır. Anketin ikinci bölümünde Minnesota İş Doyumu Ölçeği, üçüncü bölümünde ise İş Güvenliği Ölçeği yer almaktadır.

2.1.1. Minnesota iş doyum ölçeği

Minnesota İş Doyumu Ölçeği, çalışanların iş doyum düzeylerini ölçmek amacıyla Weiss ve arkadaşları (1967) tarafından geliştirilmiş ve Baycan (1985) tarafından Türkçeye çevrilmiştir. İçsel, dışsal ve genel iş doyum faktörlerini belirlemeye yönelik 20 sorudan oluşan 5'li likert tipinde bir ölçektir. Ölçek içsel doyum, dışsal doyum ve genel doyum puanlarını vermektedir. Araştırmada genel doyum puanı değerlendirilecektir. Ölçeğin genel doyum puanı, sorulara verilen puanların toplamının 20'ye bölünmesiyle elde edilir. Ölçek için nötr doyum puanı 3'tür. Ölçekten elde edilen puan 3'ten büyük ise iş doyumunu yüksek, elde edilen puan 3'ten küçük ise iş doyumunu düşük olarak değerlendirilmiştir.

2.1.2. İş güvenliği ölçeği

Araştırmaya katılan inşaat işçilerinin iş güvenliği algılarını ölçmek için Williamson ve arkadaşları (1997) tarafından geliştirilen ve Atay (2006) tarafından Türkçeye uyarlanarak geçerliliği ve güvenilirliği test edilen İş Güvenliği Ölçeği kullanılmıştır. Beşli likert tipi, kesinlikle katılmıyorum (1), katılmıyorum (2), kararsızım (3), katılıyorum (4) ve kesinlikle katılıyorum (5) şeklinde derecelendirmeye sahip olan ölçekte toplamda 32 soru bulunmakta ve çalışanların iş güvenliği algılarını tek faktörde değerlendirmektedir. Ayrıca 21, 22, 23, 25, 28 ve 29 nolu ifadeler olumsuz oldukları için ters kodlanmıştır. Ölçeğin genel puanı, sorulara verilen puanların toplamının 32'ye bölünmesiyle elde edilir.

2.2. Verilerin Analizi

Araştırma neticesinde toplanan veriler SPSS 22 istatistik programı yardımıyla elektronik ortama aktarılmıştır. Analizler yine bu program yardımıyla yapılmıştır. Ayrıca elde edilen veriler %5 anlam düzeyinde ($p < 0,05$) analiz edilmiştir.

Elde edilen verilere normallik testi uygulanmıştır. Verilerin normal dağılım göstermediği ortaya çıkmıştır

($p < 0,05$). Normal dağılım elde edebilmek için anket iptali veya verilerde düzenleme yapılmamıştır. Kruskal Wallis testi, Mann Whitney U testi ve Post Hoc testlerinde Tukey testi kullanılarak demografik özellikler ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. İş doyumu ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişkinin varlığı Spearman korelasyon analizi ile araştırılmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan analiz sonuçlarına göre İş Güvenliği Ölçeği ile İş Doyumu Ölçeği'nin Cronbach's Alpha (α) katsayıları sırasıyla 0.910 ve 0.950 olarak bulunmuştur. Kolmogorov-Smirnov testi ile elde edilen verilerin normal dağılım göstermediği sonucuna varılmıştır ($p < 0,05$).

Çalışmaya katılan inşaat işçilerinin demografik özelliklerine ilişkin veriler Tablo 1'de gösterilmiştir. Katılımcıların tamamı erkeklerden oluşmaktadır. Katılımcıların %62,7'si 26-35 yaş arası bireylerden oluşmaktadır. Katılımcıların eğitim durumu incelendiğinde, büyük çoğunluğu (%59,6'sı) ilkököl mezundur. Aylık gelirlerinin dağılımında dikkati çeken, katılımcıların %54,7'sinin gelirlerinin 2000 TL ile 3000 TL arasında olmasıdır. Katılımcıların %44,7'si inşaat sektöründe 2 yıl ile 4 yıl arasında süreyle çalışmaktadır.

Tablo 1. Demografik özelliklere ilişkin veriler

Cinsiyet	Frekans	%	Geçerli %	Birikimli %
Kadın	0	0	0	0
Erkek	161	100	100	100
Toplam	161	100	100	
Yaş Grupları				
16-25	25	15.5	15.5	15.5
26-35	101	62.7	62.7	78.3
36 ve üzeri	35	21.8	21.8	100
Toplam	161	100	100	
Eğitim Düzeyi				
İlkokul	96	59.6	59.6	59.6
Ortaokul	41	25.5	25.5	85.1
Lise ve üzeri	24	14.9	14.9	100
Toplam	161	100	100	
Medeni Durum				
Evli	95	59.0	59.0	59.0
Bekâr	66	41.0	41.0	100
Toplam	161	100	100	
Aylık Gelir				
Asgari ücret ¹				
-2000tl	20	12.4	12.4	12.4
2001-3000tl	88	54.7	54.7	67.1
3001 tl ve üzeri	23	32.9	32.9	100
Toplam	161	100	100	
Sektörde Çalışma Süresi				
0-1yıl	12	7.5	7.5	7.5
2-4yıl	72	44.7	44.7	52.2
5-10yıl	51	31.7	31.7	83.9
11yıl ve üstü	26	16.1	16.1	100
Toplam	161	100	100	

¹2018 yılı asgari ücret: 1603,12 TL

Tablo 2. İş güvenliği algısının medeni durum bakımından Mann Whitney U testi sonuçları

	Medeni Durum	N	Ort. Derece	Derecelerin Top.
İş Güvenliği	Evli	95	83.83	7963.50
	Bekar	66	76.93	5077.50
	Toplam	161		
Test İstatistikleri				
	Mann-Whitney U		2866.500	
	Wilcoxon W		5077.500	
	Z		-.939	
	P		.348	

Tablo 2 incelendiğinde, iş güvenliği algısının medeni durum açısından anlamlı bir farklılık göstermediği görülmektedir ($p > 0,05$). Bunun yanı sıra, evlilerin verdiği cevapların ortalamaları bekarlardan daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi evli çalışanların sorumluluk duygusunun daha yüksek olması olabilir.

İş güvenliği algısının yaş, eğitim durumu, aylık gelir ve sektörde çalışma süresi açısından farklılığı ile ilgili analizler Tablo 3 'te verilmiştir. İş güvenliği algısı faktörünün yaş grupları açısından anlamlı farklılık gösterdiği sonucuna varılmıştır ($p < 0,05$). 26-35 yaş aralığında olan işçilerin iş güvenliği algı düzeyi diğer yaş gruplarındaki çalışanlara göre daha yüksektir. Bu durum, 26-35 yaş grubundaki çalışanların iş güvenliği algılarının ile diğer yaş grubundaki çalışanlardan daha yüksek oluşunu, evli ve aile kavramına önem veren ve çalışma hayatına X kuşağı olarak girmiş, nispeten öğrenme, algılama, tepki verme, sorunlara çözüm bulma gibi yetenekleri açısından gelişmiş bir grup olması ile açıklanabilir. İş güvenliği algısı ile eğitim durumu arasında yapılan Kruskal Wallis testi neticesinde anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p > 0,05$). Bu bulgu Gündüz'un [13] Gebze Organize Sanayi Bölgesi çalışanları arasında yaptığı araştırma ile Gürbüz ve İbrakovic'in [14] işletmelerde iş güvenliği kültürü algısını ölçmek adına yaptıkları çalışmada elde edilen bulgulara paralellik göstermektedir.

Tablo 3. İş güvenliği algısı Kruskal Wallis testi sonuçları

	Yaş	N	Ort. Derece	Test İst.	
İş Güvenliği Algısı	16-25	25	60.34	Chi-Square	6.175
	26-35	101	85.72	Df	2
	36 ve üzeri	35	82.13	P	0.046
	Eğitim Durumu	N	Ort. Derece	Test İst.	
İş Güvenliği Algısı	İlkokul	96	76.51	Chi-Square	2.412
	Ortaokul	41	86.06	Df	2
	Lise ve üzeri	24	90.31	P	0.299
	Aylık Gelir	N	Ort. Derece	Test İst.	
İş Güvenliği Algısı	Asgari ücret- 2000 TL	20	73.35	Chi-Square	0.639
	2001-3000 TL	88	82.24	Df	2
	3001 TL ve üzeri	53	81.82	P	0.726
	Sektörde çalışma süresi	N	Ort. Derece	Test İst.	
İş Güvenliği Algısı	0-1 yıl	12	65.42	Chi-Square	1.605
	2-4 yıl	72	82.3	Df	3
	5-10 yıl	51	81	P	0.658
	11 yıl ve üzeri	26	84.6		

İş güvenliği algısı ile aylık gelir arasında yapılan Kruskal Wallis testi sonucunda anlamlı bir farklılık bulunamamıştır ($p>0.05$). Bu bulgular, meslek yüksekokulu öğrencileri arasında yapılan araştırma ile kamu çalışanları arasında yapılan araştırmada elde edilen bulgulara paralellik göstermektedir [16,1]. Verilerin cevapların ortalamalarına bakıldığında 2001-3000 TL arası maaş alanlar ile 3000 TL ve üzeri maaş alanların ortalama puanları birbirine yakınken asgari ücret-2000 TL maaş arası alan çalışanların ortalama puanı daha düşüktür. Bu durum tecrübeli çalışanların daha yüksek maaş alması ile açıklanabilir.

İş güvenliği algısı ile sektörde çalışma süresi arasında yapılan Kruskal Wallis testi neticesinde anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir ($p>0.05$). Bu bulgu hem Gebze Organize Sanayi Bölgesi'nde çalışan işçilerle yapılan çalışma hem de Eskişehir ili metal sektöründe çalışan işçilerle yapılan çalışma bulgularına paralellik göstermektedir [15,17]. Özellikle 2 yıldan daha uzun çalışma süresi olan çalışanların ortalama puanlarının birbirine yakın oluşu, bilgi birikimi ve tecrübe ile açıklanabilir.

Tablo 4. Yaş grupları arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla yapılan Tukey testi

		Ort Fark	Std. Hata	P	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
16-25	26-35	-.21854	.09027	.044	-.4321	-.0050
	36 ve üzeri	-.19482	.10582	.160	-.4452	.0555
26-35	16-25	.21854*	.09027	.044	.0050	.4321
	36 ve üzeri	.02372	.07926	.952	-.1638	.2113
36 ve üzeri	16-25	.19482	.10582	.160	-.0555	.4452
	26-35	-.02372	.07926	.952	-.2113	.1638

Gruplar arasındaki farklılığı belirlemek amacıyla Post Hoc testlerinden Tukey testi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir. 16-25 yaş ile 26-35 yaş

arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılaşma olduğu görülmüş ve 26-35 yaş aralığındaki işçilerin iş güvenliği algısı düzeyi daha yüksek çıkmıştır.

İş doyumu ile iş güvenliği algısı arasında pozitif yönlü ve çok zayıf bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Spearman Korelasyon analizi, $r=.236$; $p<0.05$). Tablo 5'teki bulguların aksine Stoilkovska ve arkadaşlarının [17] Makedonya'da ve Idrees ve arkadaşlarının [18] Pakistan'da inşaat işçileri arasında yaptığı çalışmalarda pozitif yönlü ve güçlü bir ilişki bulunmuştur.

Tablo 5. İş doyumu ile iş güvenliği faktörlerinin korelasyon analizi sonuçları

		İş Doyumu	İş Güvenliği
İş Doyumu	Spearman's rho	1	.236**
	P		.003
	N	161	161
İş Güvenliği	Spearman's rho	.236**	1
	P	.003	
	N	161	161

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de iş kazalarının yoğun görüldüğü sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. Her yıl yüzlerce çalışan, inşaat sahalarında meydana gelen iş kazaları sebebiyle hayatını kaybetmektedir. İnşaat sektöründe çalışanlar için iş sağlığı ve güvenliğinin kalıcı bir kültüre dönüşmesi ve çalışanların güvenlik algı düzeylerinin artırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'de inşaat sektöründe çalışan işçilerin iş doyumu seviyesi ile iş güvenliği algıları arasındaki ilişkinin incelendiği ilk araştırmalardan biridir. Benzer çalışmalar Türkiye'de, endüstri alanında çalışan bireylerde, enerji sektöründe çalışan bireylerde, mobilya sektöründe çalışan bireylerde yürütülmüştür [13,20,21]. İnşaat sektöründe iş doyumu ile iş güvenliği algısı arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalara, Stoilkovska ve arkadaşlarının [17] Makedonya'da 8 inşaat firmasında çalışan 155 işçinin katılımıyla gerçekleştirdiği çalışma ve Idrees ve arkadaşlarının [18] Pakistan'da 7 farklı inşaat projesinde çalışan 265 işçinin katılımıyla gerçekleştirdiği çalışma örnek verilebilir. Ayrıca sağlık sektöründe çalışan hemşire ve hasta bakıcılar, Norveç'te offshore şirketlerde çalışan işçiler, tır şoförleri, Norveçli bir denizcilik şirketinde çalışan bireyler arasında benzer konuda yapılmış araştırmalar da mevcuttur [22,23,24,25].

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre inşaat sektöründe çalışan işçilerin iş doyumu seviyesi ile iş güvenliği algıları arasında pozitif yönlü ve çok zayıf bir ilişki bulunduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca araştırma kapsamında yaş grupları ile iş güvenliği algısı arasında anlamlı farklılık olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte 26-35 yaş aralığında olan işçilerin iş güvenliği algı düzeyi diğer yaş gruplarındaki çalışanlara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

İş doyumu düzeyi ile iş güvenliği algısı arasında çok zayıf olsa da pozitif yönlü bir ilişki bulunduğundan

çalışanların iş doyumu düzeyini arttıracak faaliyetlerin iş güvenliği algısını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir. İnşaat işçileri için iş güvenliği algılama düzeyinin eğitim durumu, aylık gelir ve sektörde çalışma süresi gibi faktörlere bağlı olmadığı ve sadece yaş faktörünün iş güvenliği algılama düzeyini etkilediği görülmektedir. 26-35 yaş aralığındaki çalışanların algılama, tepki verme ve sorunlara çözüm bulma gibi yeteneklerinin gelişmiş olması sebebiyle risk seviyesi yüksek olan işlerin bu kişilere yaptırılmasının iş kazası ihtimalini düşüreceğini düşünülmektedir.

Araştırma sonucunda yönetimin çalışanları ödüllendirmesinin çalışanların daha güvenli çalışmasına yardımcı olacağı ifadesinin en yüksek puanı aldığı sonucuna varılmıştır. İşyerinde ödül sisteminin oluşturulması çalışanların daha güvenli çalışmasını sağlayacaktır.

Çalışanların iş güvenliği algı düzeylerini belirlemek adına işyerlerinde düzenli olarak anketler uygulanmalıdır. Bu anketler sonucunda elde edilen bulgulara göre yüksekte çalışma, elektrikle çalışma gibi tehlikeli işlerde iş güvenliği algısı yüksek olan işçiler çalıştırılabilir.

İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri düzenli aralıklarla tekrarlanmalı ve verilen eğitimlerin uygulaması yapılarak davranış biçimi olması sağlanmalıdır. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliği bilincinin oluşması için işverenlere de iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verilmesi ve belirli sürelerle tekrarlanması kanuni zorunluluk haline getirilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, kıymetli eleştirileriyle makaleyi değerlendirerek katkı sunan Prof. Dr. Nüket SİVRİ'ye sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Saraç, Ç.K. (2016). İş Sağlığı ve Güvenlik Kültürü Algısının İş Tatmini ile İlişkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, s. 132.
- [2] Ceylan, H. (2014). Türkiye'de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(6), 1-6.
- [3] Ercan, A. (2010). Türkiye'de yapı sektöründe işçi sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 13 (1), 49-53.
- [4] Kızgın, M.A. (2017). İnşaat İşçilerinin Yüksekte Çalışmaları ve Kullanılan İskelelerin İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, s. 96.

- [5] İSGİP, (2015). KOBİ'ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri-İnşaat Sektörü. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- [6] Eren, E. (1998). Örgütsel Davranış ve Yönetim Psikolojisi. Beta Yayınları.
- [7] Tüzüner, L.V., Özasan, B.Ö. (2011). Hastanelerde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesine yönelik bir araştırma. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 40(2),138-154.
- [8] Fuller, C.W., Vassie, L.H. (2001). Benchmarking the safety climates of employees and contractors working within a partnership arrangement. *Benchmarking: An International Journal*, 8(5), 413-430.
- [9] Özkan, T., Lajunen, T. (2003). Güvenlik kültürü ve iklimi. *Pivolka*, 10(2), 3-4.
- [10] Weiss, D.J., Dawis, R.V. England, G. W. and Lofquist, L. H. (1967). Manual for the Minnesota Satisfaction Questionnaire. Vol. 22, Minnesota Studies in Vocational Rehabilitation, Minneapolis: University of Minnesota, Industrial Relations Center.
- [11] Baycan, A. (1985). An Analysis of the Several Aspects of Job Satisfaction Between Different Occupational Groups. Doktora Tezi. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, s. 34.
- [12] Williamson, A.M., Feyer, A.M., Cairns, D., Biancotti, D. (1997). The development of a measure of safety climate: The role of safety perceptions and attitudes. *Safety Science* ,25(1-3),15-27.
- [13] Gündüz, B. (2016). Çalışanların Örgütsel Bağlılık ve İş Güvenliği Algıları Arasındaki İlişki: Gebze Organize Sanayi Bölgesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, s. 85.
- [14] Gürbüz, H., İbrakovic, H. (2017). İşletmelerde iş güvenliği, güvenlik performansı ve iş güvenliği kültürü. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(11), 442-469.
- [15] Özkurt Sivrikaya, S., Üzüm, B. (2018). Öğrencilerin işçi sağlığına ve güvenliğine yaklaşımları (Kocaeli Myo Örneği). *International Journal Of Disciplines Economics&Administrative Sciences Studies*, 4(7), 99-111.
- [16] Uslu, V. (2014). İşletmelerde İş Güvenliği Performansı ve İş Güvenliği Kültürü Algılamaları Arasındaki İlişki: Eskişehir İli Metal Sektöründe Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, s. 112.
- [17] Stoilkovska, B.B., Pancovska, V.Z., Mijoski, G. (2015). Relationship of safety climate perceptions and job satisfaction among employees in the construction industry: the moderating role of age. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(4), 440-447.
- [18] Idrees, M.D.,Hafeez, M., Kim, J.Y. (2017). Workers' age and the impact of psychological factors on the perception of safety at construction sites. *Sustainability*, 9(2017), 745: 1-15. <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/5/745/htm> (15.06.2018)
- [19] Atay, F. (2006). Endüstri Alanında Çalışan Bireylerin İş Doyumu Düzeylerinin İş Güvenliği Algıları Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, s. 131.
- [20] Aydın, F. (2010). İşletmelerde Fiziksel Çalışma Koşullarının İş Doyumu Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye, s. 142.
- [21] Yıldırım, İ., Akyüz, K.C., Akyüz, İ., Alevli, C. (2015). Mobilya sektöründe çalışanların iş güvenliği algıları ile iş doyumunu düzeylerinin incelenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi, Özel Sayı-1(UMK 2015)*, 171-184.
- [22] Avram, E., Ionescu, D., Mincu, C.L. (2015). Percived safety climate and organizational trust: the mediator role of job satisfaction. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 187(2015), 679-684.
- [23] Nielsen, M.B., Mearns, K., Matthiesen, S.B., Eid, J. (2011). Using the job demands-resources model to investigate risk perception, safety climate and job satisfaction in safety critical organizations. *Scandinavian Journal of Psychology*, 52(2011), 465-475.
- [24] Huang, Y.H., Lee, J., McFadden, A.C., Murphy, L.A., Robertson, M.M., Cheung, J.H., Zohar, D. (2016). Beyond safety outcomes: An investigation of the impact of safety climate on job satisfaction, employee engagement and turnover using social Exchange theory as the theoretical framework. *Elsevier, Applied Ergonomics*, 55(2016), 248-257.
- [25] Bergheim, K., Nielsen, M.B., Mearns, K., Eid, J. (2014). The relationship between psychological capital, job satisfaction and safety perceptions in the maritime industry. *Elsevier, Safety Science*, 74(2015), 27-36.

Investigation of Electronic Properties of SbSeI Under High Pressure by First Principles Calculations

Yüksek Basınç Altında SbSeI'nin Elektronik Özelliklerin İlk Hesaplamalar İle İncelenmesi

Tahsin ÖZER¹ 

¹*Osmaniye Korkut Ata University Bahçe Vocational High School, Osmaniye, Turkey.*

Abstract

The structural parameters, electronic structure, and charge density distribution of SbSeI compound under hydrostatic pressure of 0-200 kBar were investigated for the first time. Quantum Espresso software (QE) was used for all calculations. Electronic band calculations have shown that SbSeI has direct / indirect forbidden band gap in the 0-200 kBar pressure range.

Keywords: SbSeI, Pressure, Electronic properties, Quantum Espresso.

Öz

SbSeI'nin yapısal parametreleri, elektronik yapısı ve yük yoğunluğu dağılımı 0-200 kBar hidro statik basınç altında ilk kez araştırılmıştır. Tüm hesaplamalarda Quantum Espresso (QE) yazılımı kullanılmıştır. Elektronik bant hesaplamaları 0-200 kBar basınç aralığında SbSeI'nin direkt/dolaylı yasak enerji bant aralığının olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: SbSeI, Basınç, Elektronik özellikler, Quantum Espresso.

I. INTRODUCTION

If the properties of materials are known, the most suitable material can be selected in terms of cost and performance. Therefore, knowing the properties of materials is important in material science and technology. Peng *et al.* (2018) reported that bulk *V-VI-VII* semiconductors (*V*-family: As, Bi, Sb, *VI*-family: O, S, Se, Te, *VII* family: Br, Cl, F, I) are earth abundant materials [1 - 3] One of the most studied compounds of this family is SbSI [4 - 8]. SbSeI is a member of this group. It has been studied extensively recently [9 - 11]. The synthesis of these materials by exfoliation, hydrothermal method, and sonochemical method are can be experimentally feasible. Antimony selenoiodide (SbSeI) has an orthorhombic structure (space group number: Pna2₁) [1].

SbSeI was produced from mixture of antimony (Sb), selenium (Se) and iodine (I) elements [11]. Dubey *et al.* (2014), reported that Nitsche and Merz [12] have synthesized materials like SbSI, SbSBr, SbSeBr, SbSeI, SbTeI, BiSbI, BiSBr, BiSI, BiSeCl, and BiSeBr. They studied their photoconducting properties [8]. Many studies have been carried out on the electrical conductivity [13], electronic, thermoelectric [11], microelectronic, and optoelectronic [1] properties, reflectivity and vibrational spectrum [18] of SbSeI. SbSeI's single crystals were grown using the vapor phase technique and the reverse current - voltage (I-V) characteristics of the system were analyzed in the 273 to 363 K temperature range [10]. The structural, elastic, electronic [14] lattice dynamical and thermodynamic [15] properties of SbSeI investigated in the ambient pressure. Nowak *et al.* (2018), the optical parameters of mats of polymeric, polyacrylonitrile nanofibers containing ferroelectric and semiconducting SbSeI were investigated [16]. Mistewicz *et al.* (2019) presented a simple, scalable and inexpensive pyroelectric nanogenerator production method based on SbSeI [17].

Wibowo *et al.* [20] investigated the detection potential of X-rays and γ -rays of the SbSeI compound. The result of the research is showed that among the promising semiconductor materials for high performance X-rays and γ -rays detection of SbSeI [14]. This semiconductor has an indirect band gap value of 2 eV [14, 11, 20]. With a non-linear dielectric properties and strong piezoelectric effect under different phase transitions, this family can be used as a memory element, as well as technologically low pressure sensors can be easily adapted for use in microwaves and piezoelectric devices. [14, 21]. These compounds are technologically important in terms of their physical properties as well as linear and electro optic, piezoelectric, dielectric properties, etc. [22].

Using *ab initio* methods, it is possible to calculate many properties of the material (structural, optical, dynamic and thermodynamic, etc.) with great precision [23]. For electronic and technological applications, it is very

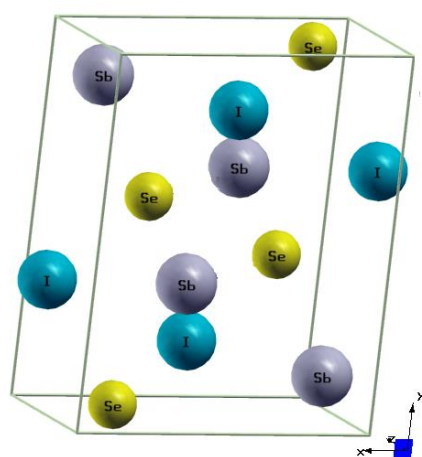
Corresponding Author: Tahsin ÖZER, Tel: +90 328 827 10 00, e-posta: tahsinozer@osmaniye.edu.tr

Submitted: 09.04.2020, **Revised:** 02.09.2020, **Accepted:** 04.10.2020

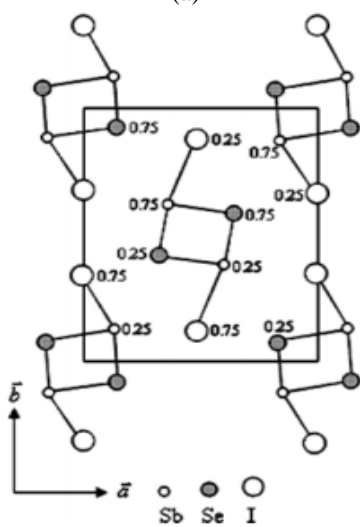
important to investigate the electronic band structure of the material. The aim of this study is to investigate the structural and electronic properties of the SbSeI crystal at different pressure values up to 200 kBar hydrostatic pressure using QE [24] software. We could not find a study that examined the structural and electronic components of the SbSeI compound under high pressure in the literature examine. For this reason, SbSeI compound was examined for the first time under high pressure with this study.

II. MATERIALS AND METHODS

SbSeI compound has an orthorhombic structure with the $Pna2_1-C_{2v}^9$ (no:33) space group. As shown in Figure 1, it has 12 atoms (4 atoms for Sb, 4 atoms for Se, and 4 atoms for I) per primitive unit cell. All atoms are in the 4c Wyckoff position [25]. The shape of the SbSeI crystal produced by the XCrySDen software [26] using the structural parameters obtained at ambient pressure is shown in Figure 1. The structure of SbSeI compounds consists of chains of atoms along the polar c-axis. It was started to calculations with the structural parameters given in Table 1.



(a)



(b)

Figure 1. Illustration (a), schematic projection [28] (b) of the SbSeI crystal.

The structure and electronic properties of SbSeI compound has been studied using DFT as implemented in QE code [24]. The PAW type pseudopotential obtained from the QE website (<https://www.quantum-espresso.org/>) was used. For this crystal the Monkhorst-Pack k-point mesh [29] $4 \times 4 \times 10$ and plane wave cutoff energy 130 Ry were applied. These k-point mesh and plane wave cutoff are optimized values. The exchange-correction functional is treated within local density approximation (LDA). SbSeI compound is calculated using the convergence threshold on forces (10^{-3} in a.u.) and total energy (10^{-4} in a.u.) for ionic minimization and convergence threshold for self-consistency (10^{-6}). The $5s^2 p^3$ of Sb, $4s^2 p^3$ of Se, and $5s^2 p^5$ of I orbitals were treated as the valence states. The first Brillouin regions in orthorhombic structure are given in Figure 2. The path used to calculate the band structure is $\Gamma - X - S - Y - \Gamma - Z - U - R - T - Z - Y - T - U - X - S - R$ [30].

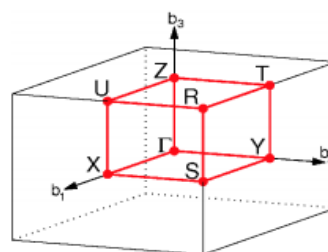


Figure 2. The first Brillouin zone of orthorhombic lattice.

III. RESULTS

In the first stage of our electronic structure calculation, geometric optimization was performed using experimental structural parameters. The optimized values of the structural parameters obtained at ambient pressure (0 kBar) are compared with the literature data in Table 1. It is seen from the table that the calculated lattice parameters agree with the experimental and theoretical results.

Table 1. The structural parameters unit cell of the SbSeI.

Ref.	Lattice parameters (Å)			Atomic positions			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Atom	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
This work	8.476	10.211	4.061	Sb	0.126	0.130	0.250
				Se	0.830	0.050	0.250
				I	0.517	0.829	0.250
Exp. [19]	8.698	10.412	4.127				
Exp. [31]	8.686	10.393	4.145				
Theo.[22]	8.474	10.249	4.064	Sb	0.126	0.130	0.250
				Se	0.830	0.050	0.250
				I	0.518	0.829	0.243
Ref [27,28]	8.650	10.380	4.120	Sb	0.118	0.130	0.250
				Se	0.835	0.060	0.250
Ref [25]	8.600	10.300	4.100	I	0.515	0.825	0.250

The change of SbSeI crystalline lattice constant, volume and density with pressure is given in Figure 3 by visualizing with MATLAB [32] software. As can be seen from the figure, the lattice constants (a , b and c) and volume decreased with pressure, whereas the density increased. This situation was expected. It is seen from the Figure 3 that b is more sensitive to pressure than a and c which of the lattice constants of SbSeI crystal.

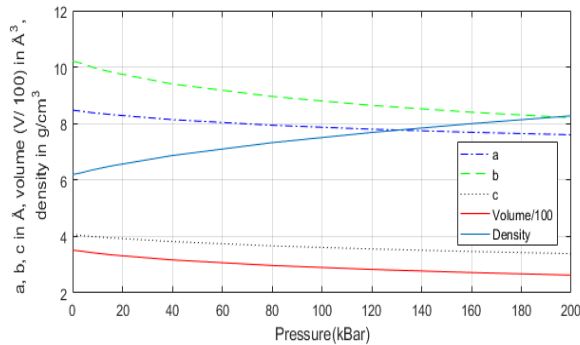


Figure 3. Lattice parameters (a , b , c in Å), volume ($V/100$ in Å³), and density (g/cm^3) for SbSeI compound as a function of the pressure.

It is a known fact that the structures undergo a phase transition under the influence of temperature or pressure and that the properties of the materials may also change with this phase change. The SbSeI crystal has two phases: ($T < 410$ K) antiferroelectric and ($T > 410$ K) paraelectric phase [33].

The derivative of Gibbs free energy with respect to the pressure at constant temperature is equal to volume. In the pressure-based 1st order phase transition, the volume of the unit cell changes suddenly as it passes

from one phase to the next. In order to see whether there is a phase transition with the effect of pressure, the pressure-volume graph given in Figure 4 has been drawn. Since the pressure-volume curve given in Figure 4 does not show a discontinuity, it can be said that there is no first order phase transition for SbSeI at the investigated pressure values.

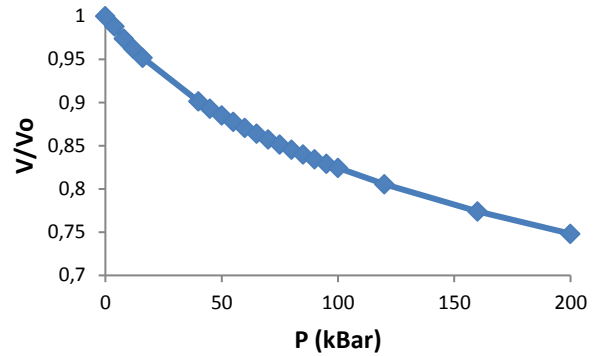
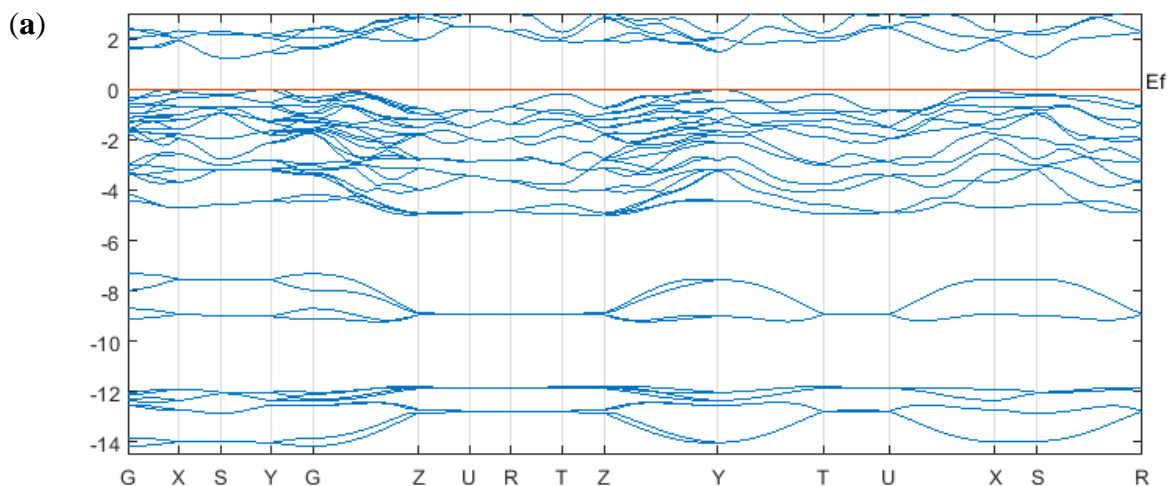


Figure 4. Pressure-volume change curve of SbSeI compound.

Electronic structure analysis plays an important role in analyzing the physical properties of SbSeI crystal from a microscopic perspective [14]. Structural parameters obtained by geometric optimization were used in electronic structure analysis. The high symmetry points of the first Brillouin zone were showed in Figure 5. Zero energy level (E_f) was chosen as the Fermi energy. This energy level was shown on the graph as a horizontal line. It is seen that electronic structures are similar in different pressures (Figure 5). Therefore, in Figure 5, electronic band structure is given only for 0, 80 and 200 kBar pressure values.



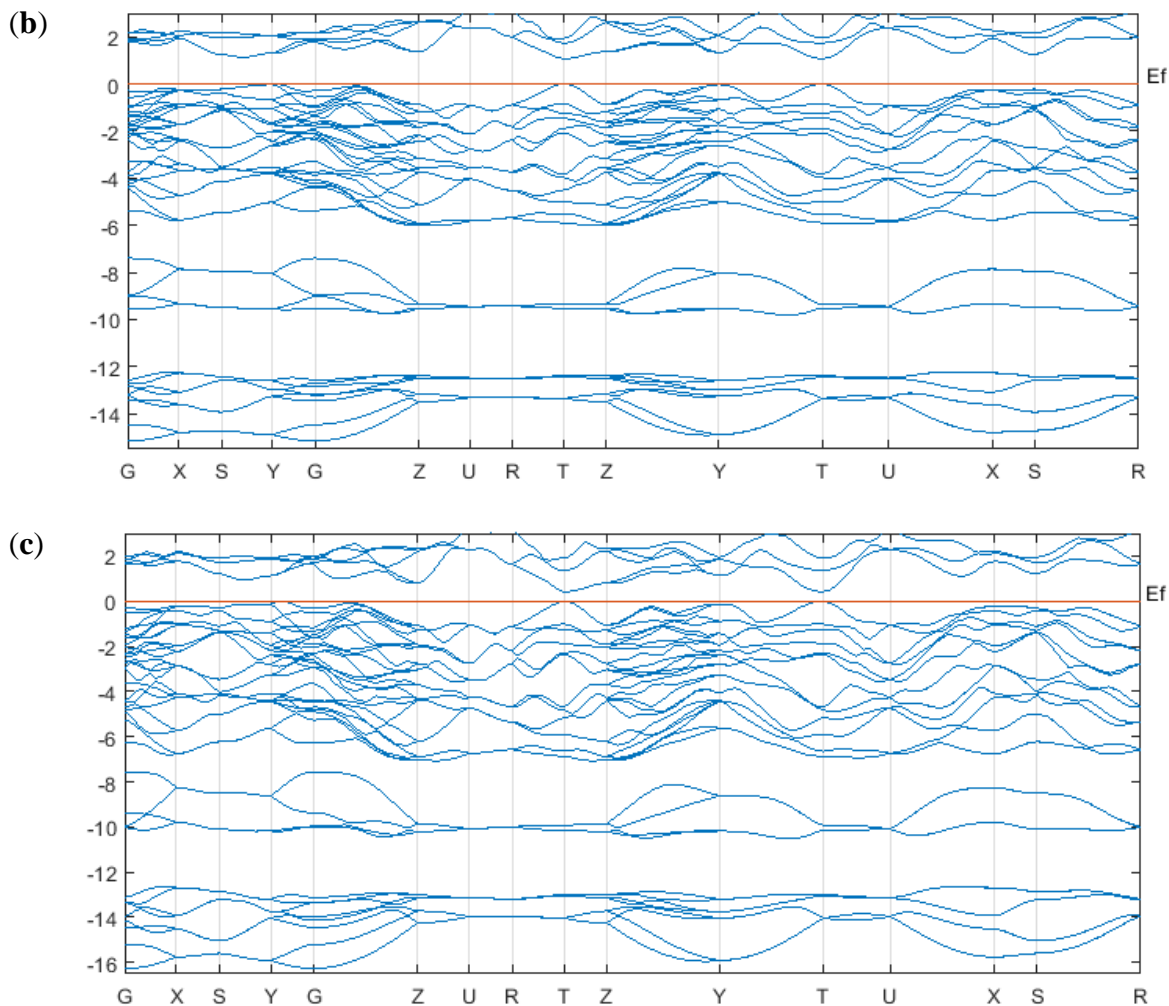


Figure 5. The electronic band structure of SbSeI, (a) 0 kBar, (b) 80 kBar, (c) 200 kBar.

The forbidden band gap of the material occurs between the maximum of the valence band and the minimum of the conductivity band. The material has an indirect band gap occur when the maximum of the valence band and the minimum of the conductivity band correspond

to different point. The change of the upper level of the valence band and the lower level of the transmission band with pressure is given in Figure 6. Maximum points of valence band and minimum points of transmission band are marked with "*".

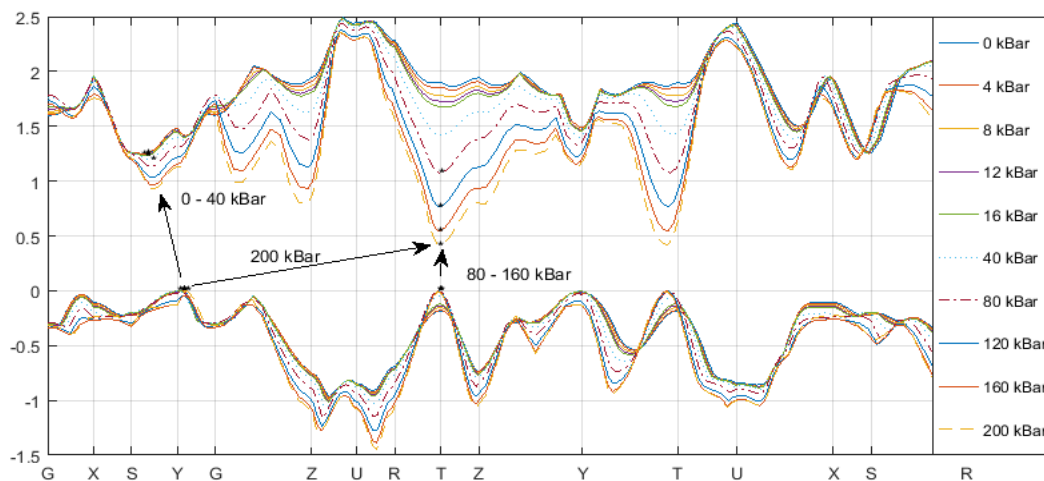


Figure 6. The change of the upper level of the valence band and the lower level of the transmission band with pressure.

As seen in Figure 6, SbSeI has indirect band gap (E_g) and direct band gap (E_g) in the 0-200 kBar. It is seen that the value of E_g decreases with increasing pressure value. The calculated band gap values were compared with the existing experimental and theoretical results available from the literature in Table 2. Ambient pressure was shown in the table as 0 kBar.

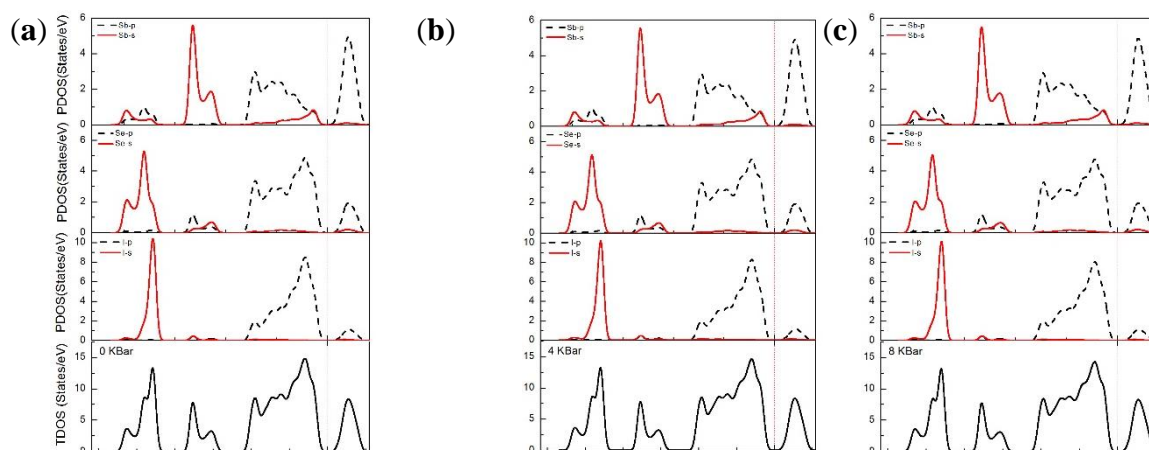
Table 2. Band gaps (E_g) for SbSeI.

Pressure (kBar)	This work	Band gaps (E_g , in eV)	
		Experimental	Other calculated values
0	1.27	1.61 ^[34] , 1.63 ^[35] , 1.70 ^[36]	1.256 ^[14] , 1.65 ^[28] , 1.33 ^[1]
4	1.28		
8	1.26		
12	1.26		
16	1.26		
40	1.22		
80	1.07		
120	0.77		
160	0.54		
200	0.43		

In literature review, only ambient pressure studies were found, and no other pressure values were found. Therefore, the data found in other pressure values could not be compared. It is seen that the value found in the ambient pressure is consistent with the value calculated in other theoretical studies (Table 2). The calculated E_g value is smaller than the experimental data. This was

expected by the nature of the calculation. Since the band gap values calculated for 0 - 80 kBar pressure values correspond to the visible region (1-3 eV), the SbSeI crystal can be used in applications as a visible light sensor.

The calculated total density of states (TDOS) and partial density of states (PDOS) for SbSeI is shown in Figure 7, to see the contribution of the orbitals to the energy bands. This compound has three valence bands. The lower valence bands were found to be in the range of approximately -17 and -13 eV. It is seen that the greatest contribution to this band comes from the valence s orbitals of Se and I atoms. There is also little contribution from the valence s and p orbitals of the Sb atom. The middle valence bands were found to be in the range of approximately -11 and -6 eV. This band contains predominantly valence s orbitals of the Sb atom. The upper valence bands (in the range of approximately -6 and 0 eV) result from the hybridization of the valence p orbitals of the atoms Sb, Se and I. This hybridization indicates the presence of covalent bond in the compound. Since there is a value in the ambient pressure (Fig. 7 (k)) in the literature, only this pressure value can be compared. It was found that the shape obtained with this study is consistent with the literature data but there is little difference in energy value. This difference is due to the difference used software. It has been observed that density of state valence s orbital (about -8 and -6 eV range), and the p orbital (about -5 and -3 eV range) of Sb atom and p orbital (about -6 and -4 eV range) of the I atom varies in the between 80-200 kBar pressure values.



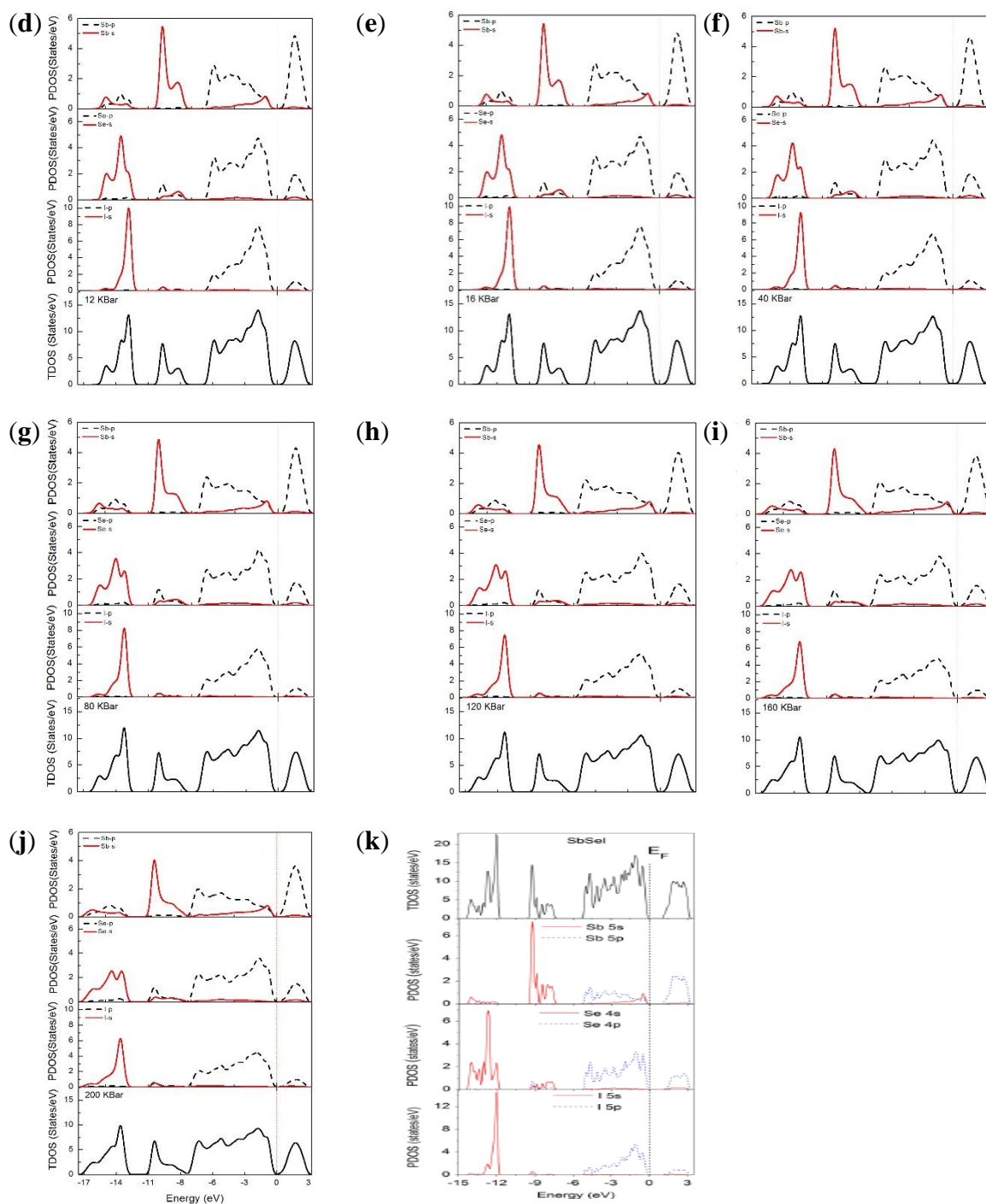


Figure 7. The PDOS and TDOS of SbSeI, (a) 0 KBar, (b) 4 KBar, (c) 8 KBar, (d) 12 KBar, (e) 16 KBar, (f) 40 KBar, (g) 80 KBar, (h) 120 KBar, (i) 160 KBar, (j) 200 KBar, (k) 0 KBar^[14]

To describe the structure of the bond between atoms, the two-dimensional charge density distributions in the plane (1 1 1) were generated using the VESTA [37]

software. The structure of the chemical bond manages the electron charge density distribution of internal atomic bonds. The figures are given in Figure 8.

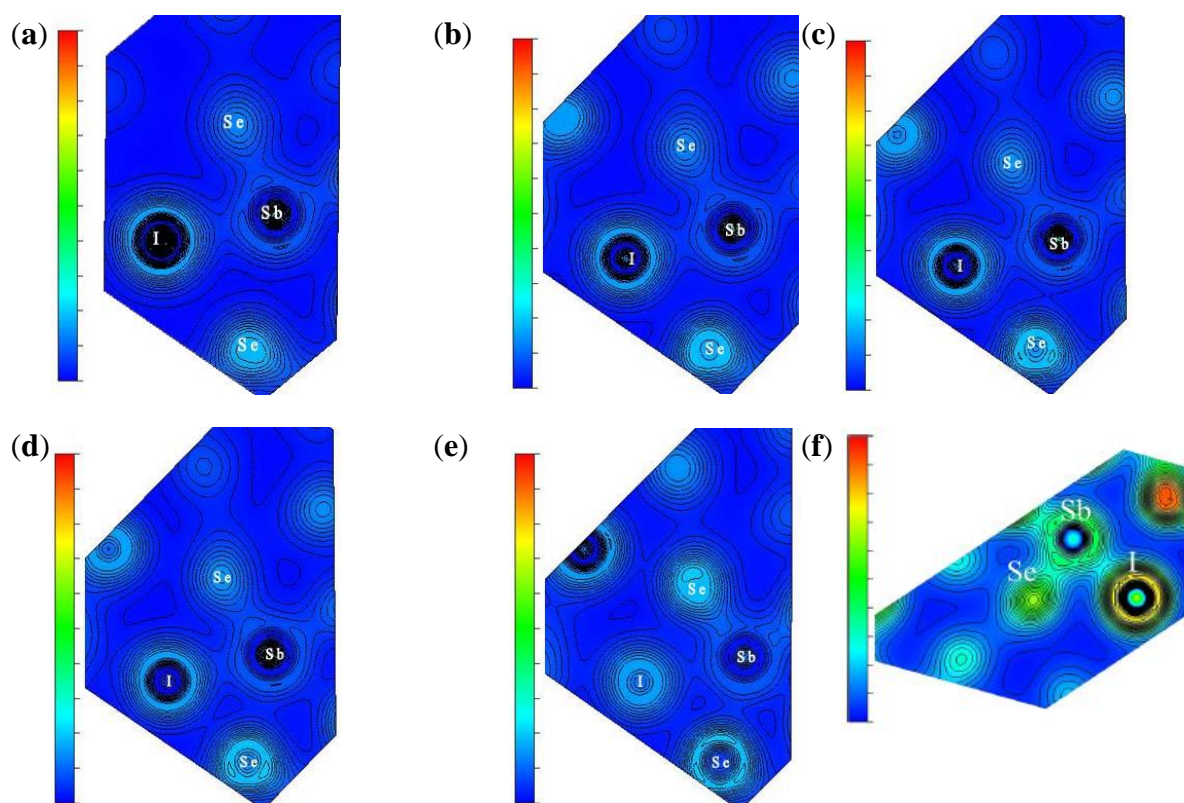


Figure 8. Calculated valence charge density distribution of SbSeI, in the (1 1 1) plane, (a) 0 kBar, (b) 40 kBar, (c) 80 kBar, (d) 120 kBar, (e) 200 kBar, (f) 0 kBar in the (-1 -1 -1) plane. ^[14]

The electro negativity values of elements in the SbSeI compound are 1.9 (Sb), 2.4 (Se) and 2.5 (I) [38, 39]. As can be seen from Figure 6, the maximum charge density around the atom I is greater than Sb and Se. This is because the atom I is more electronegative than Sb and Se. Sharing the charge between atoms is important. Because it shows that the bond between atoms is of ionic or covalent character. The spherical charge distribution around the atom I shows that the bond between Sb and I has predominantly ionic character. The presence of hump in the charge density distribution of the Sb and Se atoms indicates that the bond between these atoms is covalent and partly ionic. Physically, after electrons were transferred to the I ion, the Sb and I move away, and a covalent bond was formed. This composite bonding property is called "ionic covalent bond" [14]. The qualitative properties of the load intensities for the SbSeI compound for 0-200 kBar pressure values are very similar. Therefore, visuals are given for 0, 40, 80, 120 and 200 kBar pressure values. This similarity shows that the nature of the bonding between atoms does not change with increasing pressure value.

The percentage of an ionic bond between elements A and B can be determined by the following equation [38].

$$\% \text{ ionic bond percentage} = \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(X_A - X_B)^2}{4} \right] \right\} \times 100 \quad (1)$$

Here X_A and X_B are the electronegative values of the related elements. In the periodic table, the electronegativity values of Sb, Se and I are 1.9, 2.4 and 2.5 [38], respectively. The ionic bond percentage values of Sb-I and Sb-Se bonds calculated for the SbSeI structure are 8.61% and 6.06%, respectively. This result confirms the judgment reached above. Accordingly, Sb-Se and Sb-I bonds are weak ionic bonds and strong covalent.

IV. CONCLUSIONS

The aim of this study is to investigate the effect of pressure on the electronic structure of the SbSeI compound. For this purpose, structural optimization of SbSeI compound was performed for 0-200 kBar pressure values. Electronic band structure, TDOS, PDOS and valence charge distributions of SbSeI compound were analyzed using optimized structural parameters. As a result of the analysis, it was seen that the valence charge distribution did not change with pressure, and there was some change in the electronic band and DOS structure after 80 kBar pressure value. In SbSeI crystals, the Sb-Se bond is more covalent than the Sb-I bond. Since the band gap values of SbSeI crystals are in the visible region, they are an important parameter for wide application areas of semiconductor systems.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by OKÜBAP (Scientific Research Projects Unit of Osmaniye Korkut Ata University) with the project number OKÜBAP-2018-PT2-001.

We many thank Prof. Dr. Süleyman Çabuk from Çukurova University Faculty of Arts and Sciences for his suggestions and useful criticism.

ORCID

Tahsin Özer <http://orcid.org/0000-0003-0344-7118>

REFERENCES

- [1] Peng, B., Xu, K., Zhang, H., Ning, Z., Shao, H., Ni, G., Li, J., Zhu, Y., Zhu, H., Soukoulis, C.M., (2018). 1D SbSeI, SbSI, and SbSBr With High Stability and Novel Properties for Microelectronic, Optoelectronic, and Thermoelectric Applications. *Adv. Theory Simul.*, 1, 1700005, DOI: 10.1002/adts.201700005
- [2] Demartin, F., Gramaccioli, C.M., Campostrini, I., (2015). *Am. Mineral.* 94, 1045.
- [3] Demartin, F., Gramaccioli, C.M., Campostrini, I., (2016). *Mineral. Mag.* 74, 141.
- [4] Starczewska, A., Nowak, M., Szperlich, P., Toron, B., Mistewicz, K., Stróž, D., Szala, J., (2012). Influence of humidity on impedance of SbSI gel. *Sensors and Actuators A*, 183, 34–42. DOI: 10.1016/j.sna.2012.06.009
- [5] Grigas, J., Kajokas, A., Audzijonis, A., Zigas, L., (2001). Peculiarities and properties of SbSI electroceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 21, 337–1340.
- [6] Cho, I., Min, B.K., Joo, S.W., Sohn, Y., (2012). One-dimensional single crystalline antimony sulfur iodide, SbSI. *Materials Letters*, 86, 132–135. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.07.050
- [7] Audzijonis, A., Zaltauskas, R., Zigas, L., Vinokurova, I.V., Farberovich, O.V., Pauliukas, A., Kvedaravičius, A., (2006). Variation of the energy gap of the SbSI crystals at ferroelectric phase transition. *Physica B*, 371, 68–73. DOI: 10.1016/j.physb.2005.09.039
- [8] Dubey, H.K., Deshmukh, L.P., Kshirsagar, D.E., Sharon, M., Sharon, M., (2014). Synthesis and Study of Electrical Properties of SbTeI. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Physical Chemistry*, Article ID 965350, 6 pages. DOI:10.1155/2014/965350
- [9] Audzijonis, A., Zigas, L., Siroic, J., Pauliukas, A., Zaltauskas, R., Cerskus, A., Narusis, J., (2006). Investigation of the electronic structure of the SbSeI cluster. *Phys. Stat. Solidi B*, 243, 610-617. DOI: 10.1002/pssb.200541376
- [10] Audzijonis, R., Sereika, R., Lapeika, V., Zaltauskas, R., (2007). Current mechanism in SbSeI crystals based on phonon-assisted tunnelling emission. *Phys. Stat. Solidi B*, 244, 3260-3264. DOI: 10.1002/pssb.200642438
- [11] Khan, W., Hussain, S., Minar, J., Azam, S., (2017). Electronic and thermoelectric properties of ternary

chalcohalide semiconductors: First principles study. *Journal of electronic materials*, DOI:10.1007/s11664-017-5884-z

- [12] Nitsche R., and Merz, W.J., (1960). Photoconduction in ternary V-VI-VII compounds. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 13, 154–155. DOI: 10.1016/0022-3697(60)90136-0
- [13] Nejezchleb K., and Horak, J., (1968). Preparation and photoelectric properties of antimony selenium iodide. *Czech. J. Phys. B*, 18, 138 -142.
- [14] Ozer, T., Cabuk, S., (2018). First-principles study of the structural, elastic and electronic properties of SbXI (X=S, Se, Te) crystals. *Journal of Molecular Modeling*, 24:66. DOI:10.1007/s00894-018-3608-9
- [15] Ozer, T., Cabuk, S., (2018). Ab initio study of the lattice dynamical and thermodynamic properties of SbXI (X= S, Se, Te) compounds. *Computational Condensed Matter*, 16, e00320. DOI:10.1016/j.cocom.2018.e00320
- [16] Nowak, M., Kępińska, M., Tański, T., Matysiak, W., Szperlich, P., Stróž, D., (2018). Optical properties of nanocomposite fibrous polymer mats containing SbSeI nanowires. *Optical Materials*, 84, 383-388. DOI: 10.1016/j.optmat.2018.07.012
- [17] Mistewicz, K., Jesionek, M., Nowak, M., Koziół, M., (2019). SbSeI pyroelectric nanogenerator for a low temperature waste heat recovery. *Nano Energy*, 64, 103906. DOI:10.1016/j.nanoen.2019.103906
- [18] Audzijonis, A., Klingshirn, C., Žigas, L., Goppert, M., Pauliukas, A., Žaltauskas, R., Čerškus, A. Kvedaravičius, A., (2007). Investigation of the vibrational spectrum of SbSeI crystals in harmonic and in the anharmonic approximations. *Phys B: Condens Matter*, 393, 110–118. DOI: 10.1016/j.physb.2006.12.053
- [19] Wibowo, A.C., Mallakas, C.D., Liu, Z., Peters, J.A., Sebastian, M., Chung, D.Y., Wessels, B.W., Kanatzidis, M.G., (2013). Photoconductivity in the chalcohalide semiconductor, SbSeI: a new candidate for hard radiation detection. *Inorg Chem*, 52, 7045–7050. DOI: 10.1021/ic401086r
- [20] Pikka, T.A., and Fridkin, V.M., (1968). *Fiz. Tverd. Tela.* 10, 3378.
- [21] Sobolev, V. Val., Pesterev, E.V., Sobolev, V. V., (2004). Absorption Spectra of SbSeI and BiSeI Crystals. *Inorganic Materials*, 40, 16–19.
- [22] Ozer, T., (2016). Investigation of Structural, Dynamic and Thermodynamic Properties of SbXI (X = S, Se, Te) Compounds with ab Initio Method, PhD thesis, *Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences Department of Physics*, 148 Pages, Adana, (Turkish).
- [23] Bilge, M., Kart, S.Ö., Kart, H.H., Çağın, T., (2008). B3-B1 phase transition and pressure dependence of elastic properties of ZnS. *Materials Chemistry and Physics*, 111, 559-564. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2008.05.012
- [24] Available from: <http://www.quantum-espresso.org>
- [25] Shiozaki, Y., Nakamura, E., Mitsu, T.(eds), (2002). “Ferroelectrics and related substances”,

- Londalt-Börnstein. Numerical data and functional relationships in science and technology, 36, II data: 14 SbSI family.
- [26] Available from: <http://www.xcrysden.org/>
- [27] Wyckoff, R. W. G., (1980). Crystal Structures, 1 (Interscience, New York, 1980), p. 385.
- [28] Akkus, H., Kazempour, A., Akbarzadeh, H., Mamedov, A.M., (2007). Bant structure and optical properties of SbSeI:density-functional calculation. *Phys. Stat. Sol. (b)*, 244, 3673–3683.
- [29] Monkhorst, J.H., Pack, J.D., (1976). Special points for Brillouin-zone integrations. *Phys Rev B*, 13, 5188–5192
- [30] Setyawan, W., Curtarolo, S., (2010). High-throughput electronic band structure calculations: Challenges and tools. *Computational Materials Science*, 49, 299-312. DOI:10.1016/j.commatsci.2010.05.010
- [31] Voutsas, G.P., Rentzeperis, P.J., (1982). The crystal structure of antimony seleniodide, SbSeI. *Crystalline Materials*, 161, 111-118. DOI: 10.1524/zkri.1982.161.14.111
- [32] Available from: <https://www.mathworks.com>
- [33] Audzijonis, A., Sereika, R., Žaltauskas, R., (2008). Antiferroelectric phase transition in SbSI and SbSeI crystals. *Solid State Communications*, 147, 88-89. DOI:10.1016/j.ssc.2008.05.008
- [34] Jesionek, M., Nowak, M., Szperlich, P., Stróż, D., Szala, J., Jesionek, K., Rzychoń, T., (2012). Sonochemical growth of antimony seleniodide in multiwalled carbon nanotube. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19, 179-185. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2011.06.006
- [35] Nowak, M., Kauch, B., Szperlich, P., Jesionek, M., Kępińska, M., Bober, L., Szala, J., Moskal, G., Rzychoń, T., Stróż, D., (2009). Sonochemical preparation of SbSeI gel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 16, 546-551. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2009.01.003
- [36] Madelung, O., (2004). Semiconductors: data handbook. In: Madelung O (eds) V-I-VI I compounds, Springer, Berlin, pp 664–673.
- [37] Momma, K., Izumi, F., (2011). VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J Appl Crystallogr*, 44:1272–1276.
- [38] Callister, WD., Rethwisch, DG., (2011). Materials science and engineering. 8th edn, Wiley, New York, pp 26–36.
- [39] Lefebvre, I., Lannoo, M., Allan, G., (1987). Electronic properties of antimony chalcogenides. *Phys Rev Lett*, 59:2471–2474.

GraphQL Sorgu Oluşturma Sürecinde Kullanılan Araç ve Yöntemlerin Analizi ve İyileştirilmesi

Analysis and Improvement of Tools and Methods Used in GraphQL Query Building Process

İbrahim Enes AYDOĞDU¹ , Ali NİZAM² 

¹ Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34445, İstanbul, Türkiye

² Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34445, İstanbul, Türkiye

Öz

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, İnternete bağlanan toplam cihaz tür ve sayısında büyük bir artışa yol açmıştır. Sunucu makineler daha fazla istek almaya başlamış hem ağ trafiği hem de sunucu yanıt süresi olumsuz etkilenmiştir. Bu sorunları çözmek için Facebook tarafından 2015 yılında duyurulan GraphQL teknolojisi tek bir istekle birden fazla tablo, koleksiyon veya veri tabanına erişim sağlayarak toplu veri sorgulama ve değiştirmeye imkân vermektedir. Bu sayede cihaz başına düşen istek sayısı ve cihazların belleklerinde tutulacak veri boyutu azalır. Ancak GraphQL yeni bir teknoloji olduğundan henüz kod geliştirme sürecini yöneten ve kolaylaştıran araçlar tam olarak gelişmemiştir. Sunucu kısmında sorguları oluşturmak ve çalıştırmak için önemli miktardaki kodun elle yazılması gerekmektedir. Bu da yazılım geliştiricilere önemli bir iş yükü oluşturmaktadır. Bu çalışmada GraphQL sorgu geliştirme süreci, bu süreci kolaylaştırmak veya otomatikleştirmek için kullanılan araçlar, bu araçların kullandığı yöntemler ve sorgu geliştirme maliyetleri analiz edilmiştir. Bu maliyeti azaltmak için kodları otomatik oluşturan bir yöntem önerilmiş ve bu yöntemi kullanan bir araç geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin etkinliği diğer yöntemlerle karşılaştırılmış, sayısal olarak incelenmiş ve yazılımcıları önemli miktardaki kodu tekrar yazmaktan kurtararak zamandan tasarruf sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: GraphQL, otomatik sorgu oluşturma, nesne ilişkisel eşleşme, anlık sorgulama, NoSQL

Abstract

Nowadays, as a result of developing technology, increasing device diversity, and the total number of devices connected to the Internet, servers have started to receive more requests adversely affecting both network traffic and server response time. For eliminating these problems, in 2015, Facebook announced GraphQL technology allowing multiple tables, collections, or databases can be accessed instantly via a single request and a single answer. Therefore, the number of requests per device and the size of the data to be kept in the memory of the devices is reduced significantly. However, it is necessary to write code manually to create and run the GraphQL queries on the server part due to the lack of adequate code management and automation tools. Thus, it creates an additional workload for the developer. In this study, we have analyzed the tools used to automate or facilitate the query development process of GraphQL and compared the cost of query development. A new method and tool for generating GraphQL queries have been developed and its effectiveness has been compared to other methods and evaluated quantitatively. The results show that the developers save time by avoiding the burden of writing many lines of code.

Keywords: GraphQL, automatic query generation, object-relational mapping, ad-hoc query, NoSQL

I. GİRİŞ

İnternet üzerinde veri haberleşmesi en önemli yazılım işlevlerinden birisidir. Böylesi dağıtık ortamlarda haberleşme için en yaygın kullanılan teknoloji Rest (Representational state transfer) API'dir [1]. Bu API İnternet adreslerine HTTP protokolüyle çağrı yapmak ve istenilen sonuçları JSON (Java Script Object Notation) biçiminde döndürmek için kullanılır. Ancak günümüzde istemci tarafındaki çağrı sayısının, çağrıda kullanılan veri türlerinin, veri ara yüzlerindeki değişimlerin ve ağ trafiğinin artması Rest API'den farklı teknoloji arayışlarını tetiklemiştir [2], [3].

Rest API kullanılarak bir sitedeki içeriğin özel bir kısmına ulaşmak için yüksek işlem maliyetine sahip iki yöntem kullanılır. Birinci yöntemde tüm içerik tek bir istekle veri tabanından istemci bilgisayara indirilip istenen kısım tüm veriden ayıklanır. Bu yöntem, akıllı telefon ve tablet gibi düşük bellek alanlarına sahip cihazlar için önemli bir veri saklama sorunu oluşturmaktadır. İkinci yöntemde sunucuya birden fazla istek gönderilir. Çok sayıda isteğin eş zamanlı olarak sunucuya gönderilmesi de ağ trafiği ve cevap süresinin artmasına hatta sunucunun aşırı yükten kilitlemesine yol açabilmektedir.

Birden fazla alandan veri almak yapısı itibarıyla graf biçiminde modellenebilir [4]. Yukarıda sıralanan sorunları çözmek ve graf yapısının esnekliğinden faydalanmak amacıyla Facebook GraphQL teknolojisini geliştirmiştir [5]. GraphQL, çok sayıda çevrimiçi API ve hizmet tarafından kullanılmaktadır [6], [7]. Drupal kullanım istatistik sitesine göre GraphQL kullanımı 2017 yılından itibaren hızla artmış ve 800 bin civarında projeye ulaşmıştır [8]. REST kullanımı ise 8 milyondan 5 milyon civarına düşmüştür. Ancak akademik açıdan GraphQL hakkında oldukça az araştırma yayınlanmıştır [9].

GraphQL teknolojisi REST gibi bir servis katmanı oluşturmaktan ziyade doğrudan verileri hedefler [10]. Sunucuya gönderilen tek bir istekle ve alınan tek bir yanıtla farklı türlerdeki verilere ulaşmak mümkündür. Bu sayede ağ trafiği ve istemci-sunucu tarafında kullanılan bellek miktarı azalır. Çeşitli araştırmalar özellikle birden fazla kaynaktan veri alınan sorgularda GraphQL'in REST API'ye göre performans avantajı sağladığını göstermiştir [11] [12], [13].

GraphQL kullanarak veri sorgu ve değişiklik işlemlerinin yürütülmesi için şema ve çözümleyici metod tanımlamak gereklidir. Sorgu işlenmesi sürecinde hedef uç noktadaki (end point) işlemler için gerekli sorgu belgeleri şemaya göre doğrulanır. Şemadaki her nesne bir çözümleyici metotla temsil edilir. Çözümleyici metotlar verinin sorgulanması (query) ve değiştirilmesi (mutation) işlemini gerçekleştirir [9]. GraphQL şemasının oluşturulması ve uygulanmasının test edilmesi çok önemli ve çözüm bekleyen bir sorundur [14]. GraphQL'i veritabanı üzerinde kullanmak isteyen yazılımcılar her koleksiyon için yeniden benzer kodları yazmak zorunda kalmaktadır. Bu yüzden hata oranı artmakta, zaman ve emek israfı olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı GraphQL sorgularının oluşturulmasını otomatikleştiren, kolaylaştıran, elle kod yazma hatalarını azaltan, emek ve zaman tasarrufu sağlayan araçların kullandıkları yöntemleri mukayeseli bir şekilde incelemektedir. Ayrıca mevcut araçların özellikleri dikkate alınarak GraphQL'in oluşturulmasını kolaylaştıran yeni yöntem önerilmiştir. Bu kapsamda NoSQL (MongoDB) veri tabanları üzerinde GraphQL sorgularının çalışması için gerekli sunucu kodlarını otomatik bir şekilde oluşturan bir altyapı ve bu altyapıyı kullanan bir anlık sorgulama aracı geliştirilmiştir. Bu konudaki literatür özeti Bölüm 2'de sunulmuştur. Bölüm 3'te yeni yöntem ve aracın teknik ayrıntıları açıklanmıştır. Geliştirilen aracın etkinliği MongoDB veri tabanı üzerinde test edilmiş ve bulgular Bölüm 4'te sunulmuştur. Sonuçlar Bölüm 5'te değerlendirilmiştir.

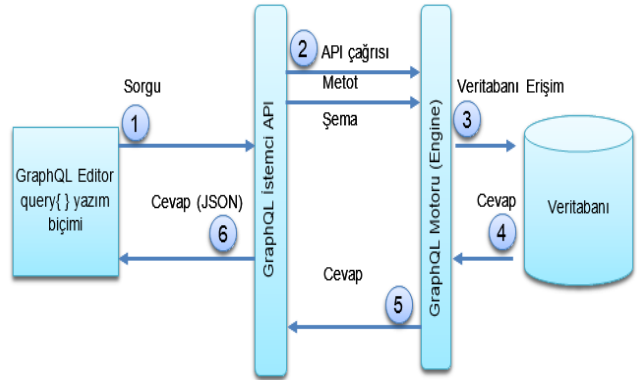
II. MEVCUT YÖNTEM VE TEKNİKLER

Veri tabanı sistemleri ile kodlama dilleri arasında veri yapı ve veri işleme mekanizmaları farklılık gösterir. Bu

farkın getirdiği kodlama yükünü azaltmak ve veri akışını yönetmek için ara katman yazılımları kullanılır. Günümüzde yaygın kullanılan ilişkisel veri tabanları için bu çözümler nesne ilişkisel eşleşme (ORM, Object Relational Mapping) ismiyle standart hale gelmiştir [15]. Bu araçlar kullanılarak ilişkisel veri tabanı ile nesne tabanlı diller arasında veri transfer ve dönüşümü için gerekli sınıflar otomatik oluşturulur. Yine ilişkisel veri tabanları üzerinde anlık SQL sorgularını çalıştırmak ve denemek için anlık sorgulama (ad hoc query) araçları kullanılır. Ancak GraphQL yeni bir teknoloji olduğu için bu tür araçlar henüz geliştirilme aşamasındadır.

2.1. GraphQL Sorgu Süreci

Bir GraphQL isteği, yazılan sorgunun aşamalı şekilde dönüştürülerek sunucuya gönderilmesi ve cevabın alınması şeklinde yürütülür; bkz. Şekil 1. GraphQL sorguları ön yüzde query{} yazım biçiminde yazılır (1). Query yazım biçimi iç içe sorgu çağrılması ve ortalama-toplam adet gibi grup temelli işlemleri destekleyerek çok önemli bir esneklik sağlar. İstemci API, sorguları arka planda GraphQL sorgu ve değişim işlemleri metotlarıyla eşleştirir ve veritabanı katmanına aktarır (2). Bunu yaparken sorgulanacak verinin yapısını tanımlayan şemaları da kullanabilir. İstemci API sorgu katmanı olmaksızın da doğrudan kullanılabilir. Veri tabanı erişim katmanı gelen istekleri veri tabanı türüne göre SQL veya NoSQL yazım biçimlerinden birisiyle veri tabanına gönderir (3) ve cevabı döndürür (4). Cevap JSON biçimine dönüştürülür (5) ve kullanıcı ara yüzüne aktarılır (6). Bu süreç farklı ürün ve araştırmalarda farklı şekillerde gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1. GraphQL sorgu süreci

2.2. GraphQL Kod Oluşturma Araçları

Temel kodları Facebook tarafından açık kaynak kodlu sunulmakla birlikte GraphQL hazır bir ürün değil mimari tanımlar içeren ve gerçekleştirme şeklini yazılım firmalarına bırakan bir tarifnamedir (specification). Bu yüzden istemci tarafında ağ isteklerini yönetmek, tampon bellek kullanımı ve kullanıcı ara yüzüne veri aktarımı için birçok araç geliştirilmiştir [16]. Bunların temel yaklaşımları aşağıda sıralanmıştır:

2.2.1. Kodlamayı basitleştiren araç ve yöntemler

Kodlamayı basitleştirme eksenli araçlarda sorgu çalıştırılması için JSON şema ve çözümleyici metotların yazılması yine gereklidir. Ancak bu işlem aracın sağladığı ara depo (repository) ve mesaj sınıfları sayesinde kolaylaştırılır [17]. Bu kapsamda bir ürün olan Apollo, Facebook firmasının React ürünüyle birlikte çalışacak şekilde geliştirilmiştir [18]. Relay ürünü ise React bileşenlerinin ortak bir sorgudan beslenmesini sağlar [19].

2.2.2. Kodları otomatik oluşturmayı sağlayan araç ve yöntemler

Sorgulanmak istenilen veri kaynağının veri yapısını algılayarak otomatik olarak GraphQL sorgu kodları oluşturmayı hedefleyen araçlardır.

- **Kendi API'sini kullanan araçlar:** Bu araçlar standart GraphQL üzerinde kendi özel API yapıları vasıtasıyla sorgu geliştirilmesini sağlar [20]. Önce UML sınıf diyagramları geliştirip, bunları GraphQL şemalarının statik veri organizasyonu ile eşleştirerek kullanmak da önerilmiştir [21]. Bu da önce UML şema oluşturma aşaması gerektirdiğinden maliyetli bir çözümdür. PostgreSQL gibi sadece belirli veri tabanlarına özel şema tanımı ve kodları yazan çözümler de bulunmaktadır [22], [23].

- **Var olan REST API'lerin GraphQL'e dönüştürülmesini sağlayan araçlar:** REST API tanımlarını, GraphQL uç nokta tanımları ve çözümleyici fonksiyonlara dönüştüren araçlardır. Swagger şema şeklinde özel bir girişe ihtiyaç duyabilirler [24].
- **Genel bir haritaya dayalı araçlar:** GraphQL şema ve çözümleyici metot oluşturma işlemini, sorgulanacak kaynaktaki şema yapısı ve GraphQL API arasında oluşturulacak Global Ontoloji Haritaları (GOH) ile sağlamayı öneren araçlar da bulunmaktadır [25]. Bu eşleştirme yöntemiyle GraphQL benzeri teknolojiler için de otomatik kod üretilebilecek ortak bir altyapı oluşturulabileceği ileri sürülmüştür. Ancak henüz bu araçların çalışan bir örneği üretilmediği için geliştirilen yöntemle doğrudan mukayesesi mümkün olmamıştır.

Kodlamayı basitleştiren yöntem ve araçlar GraphQL API'sinin farklı kodlar içerisinden çağrılmasını kolaylaştırır. Ancak sorgu oluşturma aşamasını bütünüyle içermezler. Bu yüzden sadece doğrudan sorgu oluşturmaya yönelik yöntemlerle karşılaştırma yapılmıştır; bkz. Tablo 1.

Tablo 1. GraphQL Otomatik Sorgu Oluşturma Yöntemleri Özeti

Yöntem	Dönüşüm Teknolojisi	Platform	Sorgu Biçimi	İlave API Gereği	Veri tabanı Erişimi
Prisma [20]	Veritabanı → Prisma Şema → GraphQL	Genel	Geliştirme Aşamasında (GraphQL Playground)	Şema tanımı	Otomatik oluşturan kütüphane
Hasura.io [23]	Veritabanı → GraphQL	PostgreSQL	Var	Ayrı bir uygulama olarak çalışmaktadır	Otomatik oluşturan kütüphane
StG [24]	Veritabanı → Swagger → GraphQL	Genel	Yok	SwaggerAPI	Var olan erişim kodlarını kullanan bir API oluşturuyor.
PostGraphile [22]	Veritabanı → GraphQL	PostgreSQL	Var	Komut satır ve web için ilave Plug In	Otomatik oluşturan kütüphane
Costal ve diğ. [25]	Veritabanı → GOH → GraphQL	Genel	Yok	GOH API	GOH

III. ÖNERİLEN YÖNTEM

Bu çalışmada GraphQL sorgu oluşturma sürecini otomatik hale getiren bir yöntem önerilmiş ve bu yöntemi gerçekleştiren bir araç geliştirilmiştir. Yöntem tanımı, sorgulanacak kaynaktaki veri yapısı şemalarının okunmasından sorgu çalıştırılmasına kadar tüm aşamaları içermektedir. Yöntemin geliştirilmesinde kodlamanın otomatikleştirilmesi, platform bağımsızlık, esneklik ve GraphQL API'sindeki değişikliklere kolay uyarlanabilme kriterleri dikkate alınmıştır. Mevcut araçlar incelendiğinde GraphQL API ile sorgu geliştirmede *ara bir dönüşüm teknolojisi ve ilave kütüphaneler kullanımı* yöntemi öne çıkmaktadır; bkz. Tablo 1.

Ancak bu teknoloji ve kütüphanelerin özel bir yazılım içinde kullanılması, bakım ve yönetimi için ilave emek ve zaman gereklidir. Önerilen yöntemde ise GraphQL için şema ve çözümleyici metot kodları sadece temel GraphQL API'ye bağlıdır. İlave bir sunucu veya kütüphane gerekmeksizin kodlar otomatik oluşturulup sorgu çalıştırılabilir. Böylece GraphQL API'deki olası yenilik ve güncellemelere uyarlanmanın kolaylaşması hedeflenmiştir.

Önerilen yöntemde satır sütun temelinde istenilen kısıtlama ve gruplama işlemlerinin dinamik olarak yapılmasını sağlayan GraphQL Query yazım biçimi desteklenmektedir. Bu sorgu biçimi üzerinden

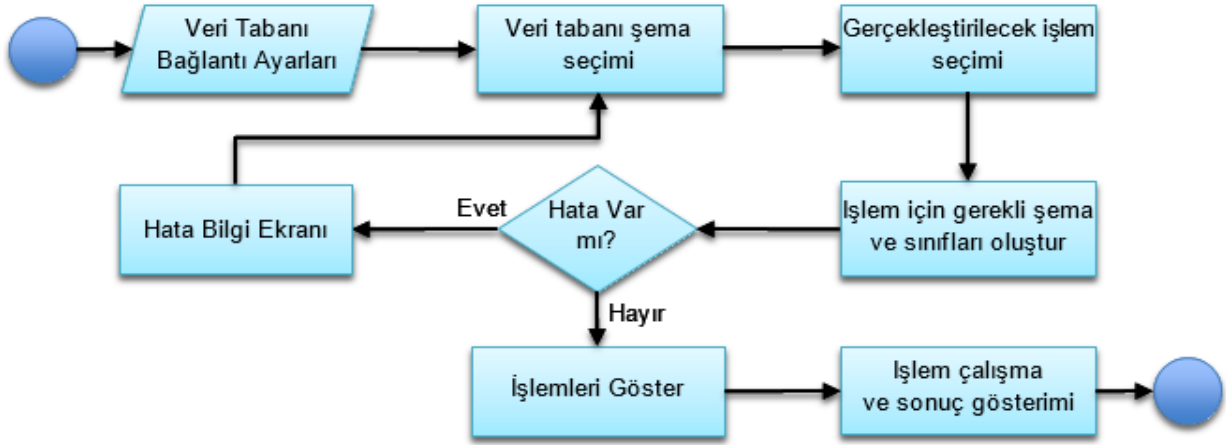
GraphiQL [26] editörüne dayalı bir anlık sorgu aracı da geliştirilmiştir. Bu sayede aynı istemci metodları kullanılarak çok farklı ve esnek sorgular geliştirilebilir. Anlık sorgu biçimini desteklemeyen araçlarda her işlem için farklı metod yazılması gerekmektedir [20], [24], [25].

Veri tabanına erişim için gerekli tüm kodun arka planda yazılmasına dayalı nesne ilişkisel eşleşme yöntemleri veri erişimini yöneterek kodlamayı kolaylaştırma gibi önemli faydalar sağlamaktadır. Ancak geliştiriciler arka planda üretilen kodu doğrudan yönetemediği için performans sorunlarına yol açabilmektedir [27]. Bunun yanında *platform bağımlılığı* gibi teknoloji kısıtları da oluşabilmektedir. Örneğin PostGraphile ve Hasura.io gibi ürünlerde sadece üreticinin destek verdiği veri tabanlarına yönelik sorgular hazırlanabilmektedir. Önerilen yöntemde nesne ilişkisel eşleşme yaklaşımı

yerine üretilen kodlara açık olarak erişilebilmesi ve gerekirse müdahale edilebilmesi tercih edilmiştir.

3.1. Geliştirilen Aracın Temel Altyapısı

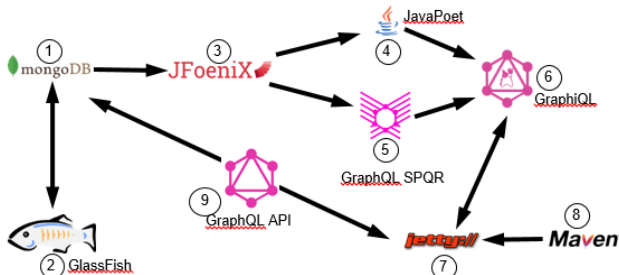
Geliştirilen yöntem, veri tabanındaki şemaların okunmasından kod çalıştırılmasına kadar tüm sorgu oluşturma sürecini otomatik hale getirmektedir; bkz. Şekil 2. Bu yöntemde dayalı geliştirilen yazılım aracında ilk aşamada veri tabanlarıyla bağlantı kurulması için gerekli bağlantı ayarları ve veri yapısı seçimleri yapılır. İkinci aşamada kullanıcı seçtiği koleksiyon üzerinde ne tür işlemler yapacağını belirler ve sorgu kodları oluşturulur. Üçüncü aşamada uygulama içerisine eklenen sunucu çalışır ve oluşturulan kodlar bu sunucu üzerinde çalışmaya başlar. Kullanıcı bu kodları kullanarak sorgu, ekleme, silme, güncelleme gibi işlemleri anlık olarak gerçekleştirebilir ve sorgu sonuçlarını görebilir.



Şekil 2. Önerilen yöntemde dayalı geliştirilen aracın temel akış diyagramı

3.2. Kullanılan Teknolojiler

GraphQL üzerinde sorgu oluşturmayı otomatikleştirmek ve anlık sorgu aracını geliştirmek için ara yüz, veri tabanı, GraphQL ve otomatik kod oluşturmayı sağlayan teknolojiler entegre edilmiştir; bkz. Şekil 3. Arayüz için JavaFX ve JFoenix, veri tabanı için MongoDB, GraphQL şema ve çözümleyici metodlar için GraphQL API ve otomatik kod oluşturmak için JavaPoet ve GraphQL SPQR teknolojilerinden yararlanılmıştır. Teknolojilerin özellikleri ve kullanım ayrıntıları aynı numaralı alt bölümlerde açıklanmıştır.



Şekil 3. Önerilen yöntemde kullanılan teknolojilerin bütünlük gösterimi

3.2.1. MongoDB

Geliştirilen sistem farklı NoSQL veri tabanlarıyla çalışabilecek altyapılar içermekle birlikte çalışma kapsamında MongoDB kullanılmıştır. MongoDB, verileri JSON dokümanları halinde saklayan ölçeklenebilir bir NoSQL veri tabanı sistemidir [28]. İlişkisel veri tabanındaki tablolar burada koleksiyona karşılık gelir. İlişkisel tablonun her bir kaydı da bir JSON belgeye karşılık gelir. Tablo sütunu için de belgedeki alanlar kullanılır. Veriler bir belge ağacı şeklinde saklanır. MongoDB'de şema yapısı yoktur ve yazma performansı yüksektir. Şemanın olmaması, her dokümanda farklı alanların tutulabildiği esnek bir yapı sağlar.

3.2.2. GlassFish

GlassFish MongoDB bağlantılarının yönetilmesini sağlar. GlassFish J2EE standardının açık kaynak kodlu temel referans sunucusudur. Düşük kaynak tüketimi ve kolay kurulumu sebebiyle tercih edilmiştir.

3.2.3. JFoenix

Sorgu üretme ve çalıştırma kodları Java dilinde geliştirilmiştir. Geliştirilen aracın ara yüzü için JavaFX altyapısını kullanan ve daha modern bir tasarım sunan

JFoenix tercih edilmiştir. JavaFX içerik, ses, grafik ve video içeren etkileşimli modern uygulamalar oluşturulmasına olanak sağlayan bir Java kütüphanesidir [29].

3.2.4. JavaPoet

JavaPoet, Java kaynak dosyası üretmeyi sağlayan bir kütüphanedir [30]. Bu kütüphane kullanılarak süreç yönetim araçlarının Java ile yazılması gibi çeşitli çözümler geliştirilmiştir [31]. Geliştirilen araçta da GraphQL sunucu kodlarının sınıf, metot ve değişkenlerinin otomatik oluşturulmasında kullanılmıştır; bkz. Şekil 4.

```

ClassName namedBoards = ClassName.get("com.mattel", "Hoverboard", "Boards");

MethodSpec beyond = MethodSpec.methodBuilder("beyond")
    .returns(listOfHoverboards)
    .addStatement("$T result = new $T<>()", listOfHoverboards, arrayList)
    .addStatement("result.add($T.createNimbus(2000))", hoverboard)
    .addStatement("result.add($T.createNimbus(\"2001\"))", hoverboard)
    .addStatement("result.add($T.createNimbus($T.THUNDERBOLT))", hoverboard, namedBoards)
    .addStatement("$T.sort(result)", Collections.class)
    .addStatement("return result.isEmpty() ? $T.emptyList() : result", Collections.class)
    .build();

TypeSpec hello = TypeSpec.classBuilder("HelloWorld")
    .addMethod(beyond)
    .build();

JavaFile.builder("com.example.helloworld", hello)
    .addStaticImport(hoverboard, "createNimbus")
    .addStaticImport(namedBoards, "**")
    .addStaticImport(Collections.class, "**")
    .build();

```

Şekil 4. JavaPoet ile örnek sınıf oluşturma görüntüsü [30]

Şekil 4'teki örnekte bir sınıf nesnesi ve bu sınıf nesnesini oluşturan bir builder nesnesi bulunmaktadır. Oluşturulan sınıf için istenen alanlar belirlendikten sonra bir "builder" nesnesi oluşturulur. Sınıfın kullanacağı kütüphaneler de builder nesnesine "addStaticImport" metoduyla verilir. Böylece sınıf verilecek ek özelliklerle beraber yazıma hazır hale gelir. Örnek kodun çıktısı aşağıdaki gibidir; bkz. Şekil 5.

```

package com.example.helloworld;

import static com.mattel.Hoverboard.Boards.*;
import static com.mattel.Hoverboard.createNimbus;
import static java.util.Collections.*;

import com.mattel.Hoverboard;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;

class HelloWorld {
    List<Hoverboard> beyond() {
        List<Hoverboard> result = new ArrayList<>();
        result.add(createNimbus(2000));
        result.add(createNimbus("2001"));
        result.add(createNimbus(THUNDERBOLT));
        sort(result);
        return result.isEmpty() ? emptyList() : result;
    }
}

```

Şekil 5. Oluşan HelloWorld.java dosyası [30]

3.2.5. GraphQL SPQR

GraphQL SPQR dinamik şema tanımlama için kullanılmıştır. GraphQLSPQR, Java kodundan dinamik olarak GraphQL şeması oluşturmak için kullanılan bir Java kütüphanesidir. Sunucu kodlarına yerleştirilen notlarla (@Annotation) bir şema oluşturur. Kullanıcının şemayı elle yazmasına gerek kalmaz. Aşağıdaki örnekte istemciye bütün bağlantıları çekme izni "@GraphQLQuery" notu ile verilmiştir; bkz. Şekil 6. Bu not herhangi bir metoda verildiğinde GraphQL artık onu bir sorgu metodu olarak görür. Insert, Update, Delete gibi işlemlerin metotları ise "@GraphQLMutation" notuyla tanımlanır. Metot parametreleri de "@GraphQLArgument" ile verilir. Argüman adı, verilecek parametre adıyla aynı olmalıdır.

```

public class Query { //1

    private final LinkRepository linkRepository;

    public Query(LinkRepository linkRepository) {
        this.linkRepository = linkRepository;
    }

    @GraphQLQuery //2
    public List<Link> allLinks(LinkFilter filter,
        @GraphQLArgument(name = "skip", defaultValue = "0") Number skip, //:
        @GraphQLArgument(name = "first", defaultValue = "0") Number first) {
        return linkRepository.getAllLinks(filter, skip.intValue(), first.intValue());
    }
}

```

Şekil 6. Örnek GraphQL SPQR görüntüsü [32]

3.2.6. GraphiQL

Facebook tarafından GraphQL için istemci tarafında veri sorgulama, ekleme, silme vb. gibi işlemleri yapabilmek için tasarlanmış resmi editördür [26]. Herhangi bir kurulumla ihtiyaç duymaz. GraphiQL basit bir HTML dosyasından oluşur. Bu dosya eklenecek projeye göre düzenlenerek her türlü projeye kolay bir şekilde eklenebilir. Herhangi bir web tarayıcısı üzerinde çalışabilir. JSON tabanlı sorgu biçiminin kullanılması aynı metodu kullanarak verinin farklı görünümünü temel API'yi değiştirmeden sorgulama esnekliği sağlar; bkz. Şekil 7.



Şekil 7. GraphQL'den örnek görüntü [26]

3.2.7. Jetty server

Geliştirilen yöntemde GraphQL sorgu kodlarını çalıştırmak için kullanılmıştır. Jetty, Java Servlet sınıflarını çalıştırmak için geliştirilmiş bir web sunucusudur. En önemli rakibi Apache Tomcat'e göre daha basit bir yapısı vardır ve karmaşık işlemleri yürütmekte daha etkindir [33]. Ayrıca sunucu kütüphanesinin küçük boyutlu olması projelerin içine rahatça eklenebilmesini sağlar. Küçük ve orta ölçekli GraphQL uygulamaları için Jetty kullanımı tavsiye edilmektedir.

3.2.8. Maven

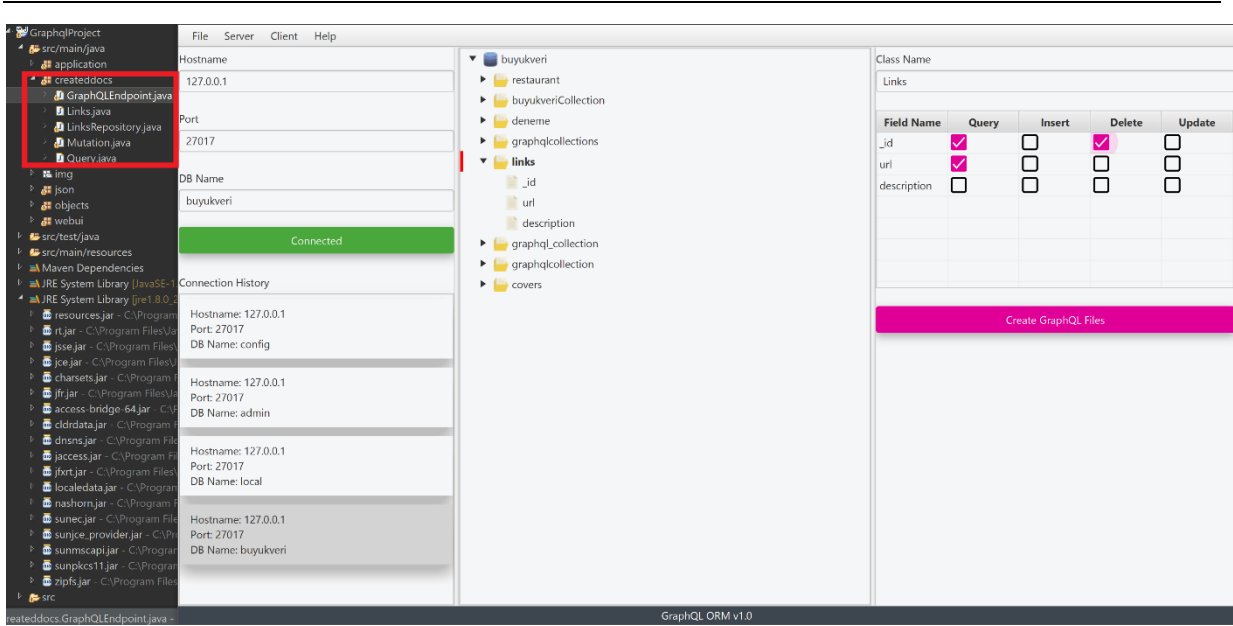
Maven eklentilerinin (plugin) uygulama içerisinden çalıştırılmasını sağlar. Bu kütüphane dinamik olarak oluşturulan GraphQL kodlarının çalıştırılacağı Jetty sunucusunu ayağa kaldırmak için kullanılmıştır.

3.2.9. GraphQL API

GraphQL'in sunucu üzerinde çalıştırılmasını gerçekleştiren yazılım kütüphanesidir. Bir şema ve o şemayı tanımlayan dosyalardan oluşur. İstemci tarafından gönderilen istekleri yöneterek, istemciye en kısa sürede ve en az ağ trafiğiyle sonuçları iletmeyi amaçlar. Birçok programlama dili için kütüphane ve sunucu desteği sağlar. Gelen istekleri sunucu üzerinde karşıladığından tüm veri tabanlarıyla sorunsuz çalışır.

3.3. Sorgu Hazırlama Aracı

Geliştirilen aracın temel işlevleri dört ana kısımda gösterilmektedir; bkz. Şekil 8. Soldan itibaren ikinci çerçevede bağlantı kurulacak veri tabanı için bağlantı ayarları yapılır. "Hostname", "Port" ve "DB Name" değerlerini aldıktan sonra veri tabanına bağlanılır. Bağlantı geçmişi "Connection History" kısmında gösterilir. Buradaki bağlantı ayarları kullanılarak kolay ve hızlı bir şekilde veri tabanına tekrar bağlanmak mümkündür. Üçüncü çerçeve bağlanılan veri tabanındaki koleksiyonları ve içerdikleri alanları bir ağaç yapısında sunar. Kullanıcı işlem yapmak istediği koleksiyonu seçtikten sonra bunlar üzerinde yapılacak işlemleri belirlemek için dördüncü çerçeveye geçer/ilerler. Dördüncü çerçevede, seçilen koleksiyon ve koleksiyonda var olan alanlar listelenerek yapılacak işlemler (sorgu, ekleme, silme gibi) belirlenir. İşlemler belirlendikten sonra "Create GraphQL Files" butonuna tıklandığında gerekli olan sınıflar ve metodlar otomatik olarak oluşturulur, ilk çerçeve açılır ve oluşturulan kod dosyaları burada listelenir. Dosyalar listelendikten sonra araç içerisinde bulunan sunucu otomatik olarak çalıştırılır ve oluşturulan kod dosyaları okunarak GraphQL'in sunucu kısmı çalıştırılır. Oluşturulan kodlar herhangi bir GraphQL sunucusunda çalışabilecek şekilde biçimlendirilmiştir.

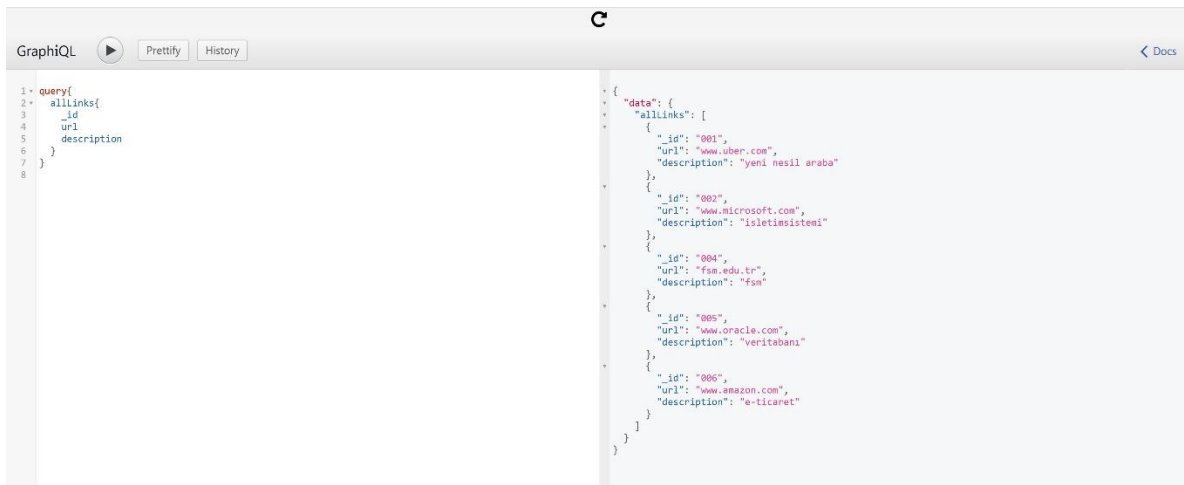


Şekil 8. Sorgu hazırlama aracı ara yüzü

3.4. Sorgu Çalıştırma Aracı

Kullanıcı, GraphQL'e dayalı *sorgu çalıştırma sayfasında* seçtiği özelliklere göre istediği sorguları GraphQL sorgu biçiminde çalıştırıp dönen verileri görebilir; bkz. Şekil 9. Sorgu, arka planda çalışan

GraphQL sunucusu tarafından ilgili veri tabanına gönderilir ve sonuçlar ekrana aktarılır. Açılan editörde sorgu kodları üzerinde istenen güncellemeler yapılabilir. Bu yazılıma önemli bir esneklik kazandırmaktadır.



Şekil 9. Sorgu çalıştırma aracı görüntüsü

IV. BULGULAR

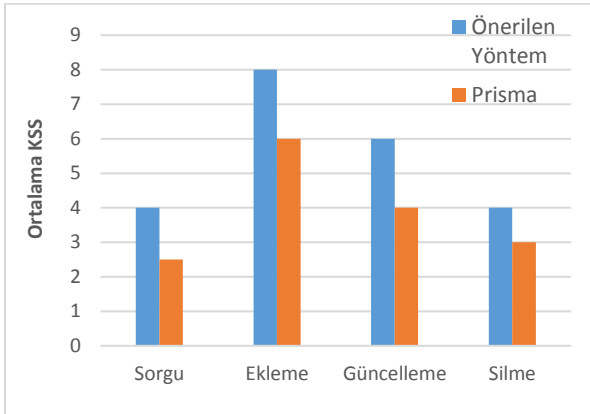
Bu bölümde GraphQL sorgu oluşturma sürecinde kullanılan farklı sistemler ile önerilen yöntemin etkinliği ve fonksiyonları; ürettikleri kod satır sayıları (KSS), esneklik ve destekledikleri platformlar açısından değerlendirilmiştir. İncelenen yönteme ait niteliklerin birbirini etkileyebileceği göz önüne alınmıştır. Örneğin kodları oluşturmadan doğrudan hazır kütüphane kullanımı esnekliği azaltabilmektedir. KSS somut bir ölçü birimi olması sebebiyle hala yazılım geliştirme sürecinde harcanacak emek ve zamanı ölçmek için en geçerli ölçüdür [34]. Literatürde incelenen GraphQL kod oluşturma sürecini otomatikleştiren bazı araçların kod üretme mekanizmaları erişilebilir değildir. Java tabanlı bir

otomatik kod üretme ürünü de tespit edilememiştir. Bu kapsamda kod üretkenlik düzeyini karşılaştırmak için JavaScript kodu üreten Prisma ürününden faydalanılmıştır. Hasura.io ve PostGraphile ürünleri de arka planda benzer kodlar üretmektedir. Ancak bunlar sadece PostgreSQL veri tabanını desteklediği için tercih edilmemiştir. Swagger-to-GraphQL de özel dönüşüm şemaları gerektirdiği için geliştirilen yöntemle doğrudan karşılaştırılması mümkün olmamaktadır. İncelemede MongoDB üzerinde basit veri türüne sahip üç alan içeren bir koleksiyon kullanılmıştır. Bu koleksiyon üzerinde sorgu ve değişim işlemleri yapmak için gereken çözümleyici metotların KSS'leri Tablo 2'de verilmiştir. Kodlar ayrıntılı inceleme yapmak isteyenler için Ek 1'de sunulmuştur.

Tablo 2. Bir koleksiyon üzerinde yürütülen işlemler için gerekli çözümleyici metod kod satır sayısı

	Metot Adeti	Önerilen Yöntem Toplam KSS	Prisma Toplam KSS
Sorgu	4	16	10
Ekleme	1	8	6
Güncelleme	3	18	12
Silme	3	12	9
Ortalama KSS		4,9	3,4

Her bir işlem için ortalama KSS, işlemin toplam KSS'nin metot sayısına bölünmesiyle hesaplanır. Sorgu işlemini gerçekleştirmek için gerekli ortalama KSS açısından Prisma (3,4) ürününün önerilen yöntemine göre (4,9) avantajlı olduğu söylenebilir; bkz. Şekil 10. Önerilen yöntemde ayrı ayrı her işlem için de KSS'nin fazla olduğu açıkça görülebilir. Ancak Prisma ürünü çözümleyici metodları otomatik yazmamaktadır. Ayrıca veri tabanı işlemleri için merkezi bir kütüphane kullanmakta ve ayrı ayrı kod oluşturmamaktadır. KSS açısından avantajlı gibi görülen bu durum kod esnekliğini azaltmakta ve kodun farklı platformlara taşınmasını güçleştirmektedir. Benzer bir çözüm olan Hasura'da [23] ayrı bir ürün olarak kurulmakta ve geliştirilen özel yazımlara entegrasyon için ilave işlemler gerektirmektedir.

**Şekil 10.** Önerilen yöntem ve Prisma ürünü için ortalama KSS

GraphQL sorgularını gerçekleştirmek için yazılması gereken toplam KSS da yazılımcıların iş yükünü belirlediğinden önemli bir inceleme konusudur. Bu kapsamda önerilen yöntemde oluşturulan tanım kodları dahil tüm kodlar toplanmalıdır. Sorgu sınıfı için 34 (Ek 2), değişim sınıfı için 58 (Ek 3), veri şeması tanımı için 29 (Ek 4), GraphQL sunucu ayarları için 29 (Ek 5) ve veri tabanı sunucu tarafındaki işlemler için 93 (Ek 6) satır kod gerekmektedir. İncelenen basit koleksiyon için gerekli sorgu toplam KSS (genel sunucu ayarları hariç) 214'tür. Birçok araştırmanın ortalamasına göre

bir programcının aylık üretebileceği kod miktarı ortalama 162-480 (ortalama 366) satır aralığındadır [35]. Sorgu oluşturma kodları birbirine benzediğinden üretkenlik artacaktır. Ancak hata düzeltme ve test gibi işlemler de dikkate alınırsa aylık GraphQL sorgu üretkenliği için üst sınıra yakın bir ortalama olan 500 KSS kabul edilebilir. Bunun neticesinde basit bir koleksiyon için gerekli GraphQL kodlarını otomatik yazmanın yaklaşık 8.5 (20 gün x (214/500)) günlük bir emek-zaman tasarrufu sağlayacağı söylenebilir. Karmaşık koleksiyonlarda tasarruf miktarı artacaktır.

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada GraphQL dili için sorgu oluşturma yöntem ve araçları karşılaştırılarak yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemi gerçekleştirmek için bir otomatik kod üretme ve anlık sorgu aracı geliştirilmiştir. Sorgu oluşturma sürecine ait sayısal sonuçlar bulgular bölümünde sunulmuştur. Buna göre GraphQL sorgu üretme sürecinin yazılımcılar için önemli bir iş yükü oluşturduğu görülebilir. Geliştirilen yöntemi kullanan araç bu işlemi saniyeler içerisinde otomatik yapmaktadır. Böylece maliyet ve zamandan önemli tasarruf elde edilebilir.

Geliştirme sürecinde araçların ürettikleri KSS genel olarak birbirine yakındır. Ancak ORM temelli araçların platform bağımlı oldukları görülmektedir. Örneğin PostGraphile ve Hasura ürünleri sadece PostgreSQL veri tabanını destekler. Ayrıca GraphQL temel standardından uzaklaştıkça temel fonksiyonları tekrar sağlamak için ilave araç geliştirilme ihtiyacı da doğmaktadır. Örneğin Prisma ürünü kendine has bir şema tanımı kullanmaktadır. Bu yüzden standart GraphQL ara yüzü üzerinden esnek sorgu yapılamamaktadır. Firmanın kendi ara yüzü henüz geliştirme aşamasındadır.

Bu çalışmada ilk hedef olarak GraphQL sorgu oluşturma sürecine ve bu sürecin otomatik hale getirilmesine odaklanılmıştır. Temel sorguların denemesi için basit bir koleksiyon yapısı kullanılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda bileşik sorgular içeren daha karmaşık koleksiyon yapılarının kod üretme sürecine etkisi incelenebilir. Ayrıca sorguların daha hızlı ve verimli çalışması için gerekli optimizasyon araçları da önemli bir araştırma konusudur. Bu kapsamda farklı yöntemlerin performansları mukayese edilebilir ve performans artışına yönelik yeni yöntemler önerilebilir. GraphQL'in doğrudan graf tabanlı veri tabanları üzerinde çalıştırılması için gerekli sorguların hazırlanma süreci de araştırılacak diğer bir konudur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması için bizleri teşvik eden Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali Yılmaz Çamurcu'ya teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Li, L., Chou, W., Zhou, W., & Luo, M. (2016). Design Patterns and Extensibility of REST API for Networking Applications. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 13(1), 154–167. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2016.2516946>
- [2] Ghebremicael, E. S. (2017). Transformation of REST API to GraphQL for OpenTOSCA. <https://doi.org/10.18419/opus-9352>
- [3] Howtographql. (2020). GraphQL is the better REST. Retrieved March 3, 2020, from <https://www.howtographql.com/basics/1-graphql-is-the-better-rest/>
- [4] He, H. (2008). Graphs-at-a-time: Query Language and Access Methods for Graph Databases, 405–417.
- [5] Facebook. (2015). GraphQL. Retrieved February 28, 2020, from <http://spec.graphql.org/July2015/>
- [6] Hartig, O., & Pérez, J. (2018). Semantics and Complexity of GraphQL Preprint Version *. 27th World Wide Web Conference on World Wide Web (WWW).
- [7] GraphQL. (2020). Who's Using | GraphQL. Retrieved March 3, 2020, from <https://graphql.org/users/>
- [8] Drupal. (2020). Usage statistics for GraphQL | Drupal.org. Retrieved March 3, 2020, from <https://www.drupal.org/project/usage/graphql>
- [9] Vogel, M., Weber, S., & Zirpins, C. (2018). Experiences on Migrating RESTful Web Services to GraphQL, 2, 283–295.
- [10] Wittern, E., Cha, A., & Laredo, J. A. (2017). Generating GraphQL-Wrappers for REST(-like) APIs. In *ICWE 2018*. Springer, Cham.
- [11] Rasool, S., Khan, R., & Mian, A. N. (2019). GraphQL and DC-WSN-Based Cloud of Things. *IT Professional*, 21(1), 59–66. <https://doi.org/10.1109/MITP.2018.2876982>
- [12] Taskula, T. (2019). Advanced Data Fetching with GraphQL: Case Bakery Service.
- [13] Guo, Y., Deng, F., & Yang, X. (2018). Design and Implementation of Real-Time Management System Architecture based on GraphQL Design and Implementation of Real-Time Management System Architecture based on GraphQL. In *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* (p. 466). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/466/1/012015>
- [14] Vargas, D. M., Mayor, U., Sim, D. S., Blanco, A. F., Pablo, J., Alcocer, S., ... Bergel, A. (2018). Deviation Testing: A Test Case Generation Technique for GraphQL APIs, 1–9.
- [15] Torres, A., Galante, R., Pimenta, M. S., Jonatan, A., & Martins, B. (2017). Twenty years of object-relational mapping: A survey on patterns, solutions, and their implications on application design, 82, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.09.009>
- [16] Porcello, E., & Banks, A. (2018). Learning GraphQL: Declarative Data Fetching for Modern Web Apps. O'Reilly Media.
- [17] Wernet, C. (2017). Unifying access to data from heterogeneous sources through a RESTful API using an efficient and dynamic SQL-query builder. Hochschule Karlsruher Technik und Wirtschaft.
- [18] Apollo. (2020). Executing a query. Retrieved February 29, 2020, from <https://www.apollographql.com/docs/react/data/queries/>
- [19] Relay. (2020). QueryRenderer. Retrieved March 2, 2020, from <https://relay.dev/docs/en/query-renderer>
- [20] Prisma. (2020). GraphQL Usage - Prisma. Retrieved March 3, 2020, from <https://www.prisma.io/with-graphql>
- [21] Rodriguez-Echeverria, R., Cánovas Izquierdo, J. L., & Cabot, J. (2017). Towards a UML and IFML Mapping to GraphQL. In *ICWE 2017* (pp. 149–155). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74433-9_13
- [22] PostGraphile. (2020). CRUD Mutations. Retrieved March 3, 2020, from <https://www.graphile.org/postgraphile/crud-mutations/>
- [23] Hasura.io. (2020). Realtime GraphQL on PostgreSQL. Retrieved May 10, 2020, from <https://hasura.io/>
- [24] StG. (2020). Swagger-to-GraphQL. Retrieved February 29, 2020, from <https://www.npmjs.com/package/swagger-to-graphql>
- [25] Costal, D., Farré, C., Gómez, C., Jovanovic, P., Romero, O., & Varga, J. (2017). Semi-automatic Generation of Data-Intensive APIs. Retrieved from <http://opendata-ajuntament.barcelona.cat/data/en/dataset>
- [26] Electronjs. (2020). GraphQL | Apps | Electron. Retrieved March 4, 2020, from <https://www.electronjs.org/apps/graphql>
- [27] Chen, T. H., Shang, W., Jiang, Z. M., Hassan, A. E., Nasser, M., & Flora, P. (2014). Detecting performance anti-patterns for applications developed using object-relational mapping. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, (CONF CODENUMBER), 1001–1012. <https://doi.org/10.1145/2568225.2568259>
- [28] MongoDB. (2020). The database for modern applications. Retrieved March 4, 2020, from <https://www.mongodb.com/>
- [29] JFoenix. (2020). JavaFX Material Design Library. Retrieved May 11, 2020, from <http://www.jfoenix.com/>
- [30] Javapoet. (2020). Javapoet: A Java API for generating .java source files. Retrieved March 4, 2020, from <https://github.com/square/javapoet>
- [31] Kozma, D., Varga, P., & Larrinaga, F. (2019). Data-driven Workflow Management by utilising BPMN and CPN in IIoT Systems with the Arrowhead Framework. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, ETFA, 2019-Septe, 385–392. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2019.8869501>
- [32] Howtographql. (2019). Alternative

approaches to schema development. Retrieved March 4, 2020, from <https://www.howtographql.com/graphql-java/11-alternative-approaches/>

[33] Biying, L. (2010). Jetty improves the performance of network management system based on TR069 protocol. 2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, 3,

799–801.

<https://doi.org/10.1109/ICICISYS.2010.5658303>

[34] McConnell, S. (2006). *Software Estimation : Demystifying the Black Art*. Microsoft Press, pp 136.

[35] Capers, J., & Bonsignour, O. (2011). *The Economics of Software Quality*. Addison-Wesley.

A Survey on Safety Culture: Firefighters

Güvenlik Kültürü Üzerine Bir Araştırma: İtfaiyeciler

Müğe ENSARİ ÖZAY¹ , Ali YAZICI² , Rüştü UÇAN³ 

^{1,3} Üsküdar Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34662, İstanbul, Türkiye

² Gedik Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34876, İstanbul, Türkiye

Abstract

This study aims to investigate the level of the safety culture of firefighters and the factors that affect the safety culture, and to find out the answers to the questions on which areas the safety of firefighters can be developed, and what can be done in these areas. In this study, the safety culture questionnaire developed by S. Williams in 2007 as a measurement tool is applied to 209 fire brigades, and the safety culture level of the participants is determined by statistical analysis. In order to determine the significance level of the relationship between the participants' responses to the safety culture questionnaire and the determined 11 hypotheses, the chi-square test is used, and the results are analyzed under three categories. As a result, a significant difference is found between the safety culture of firefighters, their education levels and occupational accidents. There is also a significant difference between the firefighters' accident situations and their ranks.

Keywords: Safety culture; Fire department; Occupational safety

Öz

Bu çalışmanın amacı, itfaiyecilerin güvenlik kültürünü ve güvenlik kültürü düzeyini etkileyen faktörleri araştırmak ve itfaiyecilerin güvenliğinin hangi alanlarda geliştirilebileceği ve bu alanlarda neler yapılabileceği sorularının cevaplarını bulmaktır. Bu çalışmada, 2007 yılında S. Williams tarafından bir ölçme aracı olarak geliştirilen güvenlik kültürü anketi, 209 itfaiyeciye uygulanmış ve katılımcıların güvenlik kültürü düzeyi istatistiksel olarak belirlenmiştir. Katılımcıların güvenlik kültürü anketine verdiği yanıtlar ile belirlenen 11 hipotez arasındaki ilişkinin önem düzeyini belirlemek için ki-kare testi kullanılmış ve sonuçlar üç kategori altında analiz edilmiştir. Sonuç olarak, itfaiyecilerin güvenlik kültürü ile eğitim düzeyleri ve iş kazaları arasında anlamlı bir fark olduğu bulunmuştur. İtfaiyecilerin kaza durumları ile rütbeleri arasında da önemli bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik Kültürü, İtfaiye Departmanı, İş Güvenliği

I. INTRODUCTION

There is a safety risk in every occupation, but firefighting is considered one of the most risky occupations [1]. The main purpose of fire brigades around worldwide is to create a safe and healthy environment for firefighters by eliminating fire and similar social risks while minimizing the occupational risks that arise during the intervention [2]. When the historical process of the fire brigade is examined, it is revealed that although the equipment and tools it possesses are technically advanced, the main dangers and vital risks faced by have not changed [1,3,4,5]. Although the help obtained from the technical developments in the fight against these dangers is important, it is seen that the approach of corporate culture, organizational commitment, sense of belonging, and safety culture gains importance [6,7,8,9,10].

Firefighters are exposed to uncontrolled environmental exposures, heavy physical workloads, chemical and toxic substances, and high levels of stress in the work environment [7]. Researchers [4,11,12,13,14] reported that firefighters were one of the most dangerous occupations according to job-related injury rates and the safety behaviors of firefighters, attitudes, norms and perceptions of security.

Safety culture is a sub-dimension of organizational culture, and reflects the behaviors and attitudes of the members of the organization about the maintenance of health and safety performance [15, 16, 17, 18]. The safety culture structure of an organization is examined as a pyramid consisting of four steps as basic security values, organizational factors, attitudes and ideas as well as safe behaviors [19].

The aim of this research is to examine the level of safety culture of firefighters and the factors that affect the safety culture, and to answer the questions about in which areas the firefighters' occupational safety can be improved, and what can be done in these fields. The purpose of this study is to reduce the risks of injuries and death among

firefighters by analyzing the safety culture. Thus three main research questions are developed: i) Why the safety culture within the fire brigade is investigated? ii) Why the safety culture within the fire brigade is investigated? iii) Why the safety culture within the fire brigade is investigated? In order to answer the questions in detail, 11 hypotheses were developed and analyzed.

II. MATERIAL AND METHODS

In the research, Anne Arundel Safety Culture questionnaire [1] was applied to firefighters working in Istanbul in June 2017. The survey questions were prepared by Williams after examining many safety culture questionnaires in the literature to assess the safety culture within the firefighters [1]. In this study, the Anne Arundel Safety Culture questionnaire was used by being translated into Turkish. The questionnaire consists of 40 questions prepared on a 5-point Likert scale. On a Likert scale, participants are asked to choose one of the following responses for each notification: (a) strongly disagree; (b) disagree; (c) impartial; (d) agree; (e) strongly agree. Six additional questions are added to the questionnaire to determine the participants' demographic data, and whether they have had an occupational accident. It is assumed that the participants answer the questionnaire questions correctly, and are not affected by each other.

The population of the research consists of approximately 4000 firefighters working in Istanbul Metropolitan Municipality Fire Department. The survey is carried out within the scope of six fire brigade groups randomly selected among 32 fire brigade groups within the structure of Istanbul Metropolitan Municipality Fire Brigade Organization and the fire stations connected to these groups. The questionnaire is distributed to 236 (48.76%) firefighters who volunteered to participate in the survey among 484 firefighters working in these fire brigades and their fire stations. The selected fire stations are visited on three different days, and the firefighters working on different shifts are reached. Out of the 236 questionnaires, 209 (88.55%) questionnaires that filled completely are evaluated.

The data are analyzed using the SPSS (version 22) program. The chi-square test was used to test the relationship between the participants' ages, education, working positions, marital status, professional experience, answers to the safety culture questionnaire, and whether they had an occupational accident. In this study, the chi-square test for independence is used to compare two variables in a contingency table to see if they are related. The independent variables of the study were age, marital status, education level, professional experience, position, and occupational accident. The dependent variable is the occupational safety culture.

III. RESULTS AND DISCUSSION

According to the results of demographic questions, the findings related to rank, education and marital status, age, occupational experience and occupational accidents are given in Table 1. Cronbach's Alpha was found to be 0.949 when the reliability analysis of the safety culture questionnaire, which consisted of 40 questions prepared on a 5-point Likert scale, was conducted.

Table 1. Percentage distribution results of demographic questions

Rank distribution	N	Percentage (%)
Firefighter	169	%80.9
Fire Sergeant	40	%19.1
Education level		
High school and below	113	%54.1
University and above	96	%45.9
Marital status		
Married	174	%83.3
Single	35	%16.7
Age range		
18-25	64	%30.6
35-45	100	%47.8
45-55	45	%21.5
Professional experience		
0-10 years	63	%30.1
10-20 years	84	%40.2
20+ years	62	%29.7
Work accident		
Yes	85	%40.7
No	124	%59.3

When firefighter's view of safety culture is analyzed under three categories, 57 (27.27%) of them have negative, 52 (24.88%) firefighters have neutral, 100 (47.85%) firefighters have positive attitudes. Furthermore, 11 hypotheses are analysed, and three of them are found to be statistically significant.

H1: A significant difference was found between the education levels of the firefighters in terms of safety culture ($p = 0.027 < 0.05$). In terms of education level, the answers given by 113 firefighters having high school education level show 33.6% (38) negative, 26.5% (30) neutral and 39.8% (45) positive distribution. When the answers of 96 firefighters who graduated from the university are examined, 19.8% (19) show negative 22.9% (22) neutral and 57.3% (55) positive distribution. It is seen that the result of this research between the safety culture and education is in the same direction as the studies in the literature. In the literature, it was found that the level of education is closely related to the culture of safety, and that the level of safety culture increases as the level of education increases [20]. Another study is that employees have a more positive perception of safety culture as the

education level increases [21]. As explained in the literature, culture is a learned concept; culture is not the innate abilities but culture is psychosocial habits and various behavioral patterns that people later acquire [20, 21]. Culture is the result of behaviors that have been learned through education and shared by members of a particular community [21].

H2: There is no significant difference ($p = 0.889 > 0.05$) between age groups in terms of safety culture of firefighters. When the percentage distribution of the answers given to the safety questionnaire was examined in terms of ages, the responses of 64 firefighters aged 18-35 showed 25% (16) negative, 21.9% (14) neutral and 53.1% (34) positive distribution. The responses of 100 firefighters between the ages of 35-45 showed 29% (29) negative, 26% (26) neutral and 45% (45) positive distribution. 45 firefighters in the 45-55 age range showed 26.7% (12) negative, 26.7% (12) neutral and 46.7% (21) positive distributions. The result between safety culture and age is in the same direction as the literature. Lee and Harrison [22] and Freaney [23] found no relationship between safety culture and age.

H3: There is no significant difference between the marital situations in terms of safety culture of firefighters ($p = 0.832 > 0.05$). When the percentage distribution of the answers given to the safety questionnaire is examined in terms of marital status, the answers given by 174 married firefighters are 26.4% (46) negative, 24.7% (43) neutral and 48.9% (85) positive. When the responses of 35 single firefighters are examined, 31.4% (11) are negative, 22.9% (8) were neutral and 45.7% (16) is positive. In the literature, Freaney [23] found no relationship between safety culture and marital status. In another study conducted by Dursun [21], no meaningful relationship was detected between married and single people in the perception of safety culture [21]. As a result, this study supports the literature.

H4: A significant difference is found between fire accidents in terms of safety culture ($p = 0.005 < 0.05$). In case of occupational accident status, the responses of 85 firefighters who had an occupational accident show 37.6% (32) negative, 27.1% (23) neutral and 35.3% (30) positive distribution. When the responses of 124 firefighters who did not experience occupational accidents are examined, it is observed that 20.2% (25) are negative 23.4% (29) are neutral and 56.5% (70) are positive. It is seen that there is a significant difference between the workers who have not had an occupational accident, and those who have had an occupational accident. In addition, it is seen that employees who have not had an accident before have a higher safety culture average than those who have had an accident. In this study, it has been investigated whether occupational accident status is an indicator of individual safety performance. With the assumption that our perception and attitude towards dangers will

also be an indicator of the safety culture, this hypothesis was created in order to evaluate the relationship between the accidents and safety culture. The literature supports the conclusion that there is a relationship between safety culture and occupational accidents obtained from this study.

In a study conducted on 456 people using the NOSACQ-50 safety culture scale to determine the safety culture in Norwegian construction and construction works, it was found that the perceptions of the safety culture of workers injured as a result of work accidents have lower average values compared to the perceptions of the safety culture of those not injured in a work accident [24]. In another study conducted by Smith and Wardsworth [25], 1752 people working in different sectors in the UK also found that non-accident workers had a more positive perception of security than those who were involved in the accident. According to the results obtained from the studies conducted in the Indian steel processing sector, a significant relationship was found between the change in employee behavior, and the decrease in work accidents and injury rates as a result of positive safety culture [26,27].

H5: There is no significant difference between the levels of occupational experience of firefighting personnel in terms of safety culture ($p = 0.986 > 0.05$). In terms of professional experience, the responses of 63 firefighters between 0-10 years show 25.4% (16) negative, 23.8% (15) neutral, 50.8% (32) positive distribution. 84 firefighters who are between 10-20 years have 28.6% (24) negative, 25% (21) neutral, 46.4% (39) positive distribution. The responses of 62 firefighters who are 20 years and over show 27.4% (17) negative, 25.8% (16) neutral and 46.8% (29) positive distribution. Similar to the results obtained from this study and the safety culture and professional experience, Freaney [23] found no relationship between safety culture and professional experience.

H6: There is no significant difference between the ranks in terms of safety culture of firefighters ($p = 0.626 > 0.05$). According to the rank, the answers given by 169 firefighters show 28.4% (48) negative, 23.7% (40) neutral and 47.9% (81) positive distributions. When the responses of 40 firefighters in the rank of sergeant are examined, 22.5% (9) were negative, 30% (12) are neutral and 47.5% (19) are positive. Similar to the results obtained in this study, the relationship between safety culture and rank was not found in the study conducted by Freaney [23].

H7: There is no significant difference between the education levels of firefighters in terms of occupational accidents ($p = 0.787 > 0.05$). When the percentage distribution of the firefighters' accidents was examined in terms of education level, it was observed that 113 firefighters in high school education have 39.8% (45) occupational accidents and 60.2%

(68) not occupational accidents. It is observed that 96 firefighters at the university education level have 41.7% (40) occupational accidents and 58.3% (56) have no occupational accidents. In a study conducted by Budakoğlu [28] on workers working in the State Railways Factory, no significant relationship was found between the occupational accident status and education status of the workers. Although a significant difference was found between education and culture in H_1 hypothesis, and between work accident and safety culture in H_4 hypothesis, there was no significant difference between occupational accident and education in H_7 hypothesis, and a significant difference between occupational accident and rank in H_{10} hypothesis. These results show that many factors are effective on individual safety performance.

H8: There is no significant difference between age groups in terms of occupational accidents among firefighters ($p = 0.602 > 0.05$). When the percentage distribution of the firefighters' accidents is examined in terms of their ages, it is observed that 64 firefighters between the ages of 18-35 have 39.1% (25) occupational accidents and 60.9% (39) not occupational accidents. It is observed that 100 firefighters between the ages of 35-45 have 44% (44) occupational accidents, and 56% (56) have no occupational accidents. It is observed that 45 firefighters between the ages of 45-55 have 35.6% (16) occupational accidents, and 64.4% (29) have no occupational accidents. In a survey of 1200 workers in a copper factory in India, it was found that the average age of 29 workers was higher than the other workers with an average age of 41 (29).

H9: There is no significant difference between the marital status of firefighters in terms of occupational accidents ($p = 0.773 > 0.05$). In terms of marital status was examined, it is observed that married firefighters have 40.2% (70) occupational accidents, and 59.8% (104) have no occupational accidents. It is observed that 35 firefighters who are single had 42.9% (15) occupational accidents, and 57.1% (20) have no occupational accidents. The results obtained from the literature and the results obtained from this study are in the same direction. In a study conducted by Budakoğlu [28] on workers working in State Railways Factories, no significant relationship was found between the employee's occupational accident status and marital status.

H10: There is a significant difference between the ranks of firefighters in terms of occupational accidents ($p = 0.016 < 0.05$). When the firefighters were examined in terms of their percentage distribution of occupational accidents, it is observed that 169 firefighters have 36.7% (62) occupational accidents, and 63.3% (107) have no occupational accidents. It is observed that 40 firefighters in the rank of sergeant have 57.5% (23) occupational accidents, and 42.5% (17) have no occupational accidents. There is a conflict

between the literature and the results obtained from this study. Although the result of the relationship between firefighters' accident situations and their ranks is the same as the literature, the direction of the relationship is different. Studies have shown that firefighters in the rank of private suffer more injuries than other ranks [9]. In this study, unlike Moore-Merrell [9] the party who had more accidents was a fire sergeant rank. The difference may be due to differences in social culture and differences in business practice.

H11: There is no significant difference between the levels of occupational experience of firefighters in terms of occupational accidents ($p = 0.704 > 0.05$).

When the percentage distribution of the firefighters' accidents is examined in terms of their professional experience, it is observed that 63 firefighters between 0-10 years have 44.4% (28) occupational accidents, and 55.6% (35) do not have occupational accidents. It is observed that 84 firefighters between 10-20 years have 40.5% (34) occupational accidents, and 59.5% (50) have no occupational accidents. It is observed that 62 firefighters with 20 years, and over have 37.1% (23) occupational accidents, and 62.9% (39) have not. In a study on workers working in a construction site in Sakarya province, a significant relationship was found between the occupational experience of the workers and their accident situations [30]. Although there is an expectation of a positive relationship between occupational experience and occupational accidents in many sectors, the reason for the failure of such a relationship for the fire brigade workers is that each incident that the fire brigade intervenes may have different risks and hazards in itself.

IV. CONCLUSION

Within the scope of this study, the concept of safety culture is evaluated generally without considering the sub-dimensions of the safety culture (situational awareness, management participation etc.). Investigating the relationship between sub-dimensions of safety culture and variables will be useful to identify in which aspects of an existing security culture need to be improved. It is recommended to use these parameters when designing a safety culture measurement tool in future researches.

The study's universe and sample area are selected as the city of Istanbul, which has the highest population among cities in Turkey. Future studies to be conducted on higher populations will be compared with the results of this study, which will contribute a better understanding of the relationship between demographic characteristics and occupational accidents and safety culture.

The research problem of this study was that although there exists high rate of injuries and death among firefighters, as far as our knowledge, the fire departments had never been an assessment of the safety culture in Istanbul. When the results are evaluated, the

relationship between the safety culture and the fire brigade is answered with three basic questions:

(i) Why the safety culture within the fire brigade is investigated? In most workplaces, the hazard is typically handled and eliminated to create a safe working environment. However, there is no way to eliminate all hazards in firefighting. Since hazards cannot be removed, the firefighter must be a safe person [10]. Consequently, developing a safety culture is an important way to make the firefighting profession as safe as possible for firefighters.

(ii) What variables should be analyzed to understand the safety culture within the fire brigade? In this study, the variables that are compared with the safety culture are education, age, rank, marital status, occupational status and accident status. In many studies in the literature [31, 21, 32, 33, 34, 35, 36], while examining the safety culture structure of organizations, it was found that socio-demographic factors and occupational accidents are the most frequently compared variables with the safety culture. In addition, the occupational accident was used as an indicator of safety performance in a study by Smith and Wardsworth [25].

(iii) What are the effects of the dependent and independent components of the study on the safety culture within the fire department? According to the results, it is found that there is a significant relationship between the variables of education level safety culture. In addition, there is a significant relationship between the status of occupational accidents and rank variable. There is no significant relationship between marital status, age, professional experience and rank variables and safety culture. There is also no significant relationship between occupational accident status and education, marital status, age, professional experience and rank variables.

The main contribution of this study to literature is that the study supports the need to improve the safety culture within Istanbul fire departments. Furthermore, firefighters are working more safely and experiencing fewer occupational accidents as the level of positive safety culture increases. In the firefighting organizations, a strategic plan should be designed by the administrations to develop the current safety culture and implement in a way that encourages the positive safety culture. It is recommended to identify the current safety culture situation, and which areas need to be improved.

Based on the findings of this study, it has been observed that the level of safety culture increases as the education level of the employees increases. In this context, an encouraging plan should be developed and implemented to increase the level of education of firefighters within the fire brigades.

CONFLICT OF INTEREST

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to express special thanks to Assoc. Prof. Türker Ergüzel for his tremendous supports and valuable contributions to this study.

REFERENCES

- [1] Williams, A. (2007). Safety culture within the Anne Arundel county fire department, United States Fire Administration Report, Maryland, USA.
- [2] Szubert, Z. and Sobala, W. (2002). Work-related injuries among firefighters: sites and circumstances of their occurrence. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 15 (1), 49-55.
- [3] DeJoy, D. M., Smith, T. D. and Dyal, M. A. (2017). Safety climate and firefighting: Focus group results. *Journal of Safety Research*, 62, 107-116.
- [4] Moore, M. L., Zhou, A., McDonald V. S., Goldstein, R. and Slocum, C. (2008). Contributing factors to firefighter line-of-duty injury in metropolitan fire departments in the United States, United States Fire Association Report, USA.
- [5] Young, P. (2001). The UK Approach to Firefighter Safety in Structure Fires. *Fire Engineers Journal*.
- [6] Clarke, S. (1999). Perceptions of organizational safety: implications for the development of safety culture. *Journal of organizational Behavior*, 185-198.
- [7] Parker, D., Lawrie, M. and Hudson, P. (2006). A framework for understanding the development of organisational safety culture. *Safety Science*, 44(6), 551-562.
- [8] Pessemier, W. L. and England, R. E. (2012). Safety culture in the US fire service: An empirical definition. *International Journal of Emergency Services*, 1(1), 10-28.
- [9] Smith, T. D., DeJoy, D. M., Dyal, M. A., Pu, Y. and Dickinson, S. (2019). Multi-level safety climate associations with safety behaviors in the fire service. *Journal of Safety Research*, 69, 53-60.
- [10] Smith, T. D., Eldridge, F. and DeJoy, D. M. (2016). Safety-specific transformational and passive leadership influences on firefighter safety climate perceptions and safety behavior outcomes. *Safety Science*, 86, 92-97.
- [11] Richardson, K. (2008). Evaluating the Organizational Culture Within The Coppell Fire Department, National Fire Academy Report, Texas, USA.
- [12] Walton, S., Conrad, K., Furner, S. and Samo, D. (2003). Cause, type, and workers' compensation costs of injury to fire fighters. *American Journal of Industrial Medicine*, 43, 454-458.
- [13] Welbourne, J. and Booth-Butterfield, S. (2005). Using the theory of planned behavior and a stage mode of persuasion to evaluate a safety message for firefighters. *Health Communication*, 18(2), 141-154.
- [14] Windham, R. (2005). A baseline measurement of

the woodlands fire department's safety culture, United States Fire Administration Report, USA.

[15] Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*, 36(2), 111-136.

[16] Mearns, K. J. and Flin, R. (1999). Assessing the state of organizational safety—culture or climate?. *Current Psychology*, 18(1), 5-17.

[17] Sexton, J. B., Helmreich, R. L., Neilands, T. B., Rowan, K., Vella, K., Boyden, J. and Thomas, E. J. (2006). The safety attitudes questionnaire: psychometric properties, benchmarking data, and emerging research. *BMC Health Services Research*, 6(1), 44.

[18] Wiegmann, D. A., Zhang, H., Von T. T., Sharma, G. and Mitchell, A. (2002). A synthesis of safety culture and safety climate research. Aviation Research Lab, University of Illinois, Illinois, USA.

[19] Patankar, M. ve Sabin, E. (2010). The Safety Culture Perspective, In E. Salas and D. Maurino (Eds.) *Human Factors in Aviation*, Second Edition. Chennai, India: Elsevier. s 99–101.

[20] Zopçuk, O. (2015). İşletmelerde güvenlik kültürünün ölçümü: küçük ve büyük ölçekli tekstil ve metal işyerleri uygulaması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı Ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Türkiye.

[21] Dursun S. (2011). Güvenlik kültürünün güvenlik performansı üzerine etkisine yönelik bir uygulama. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Türkiye.

[22] Lee, T., and Harrison, K. (2000). Assessing safety culture in nuclear power stations. *Safety Science*, 34, 61 – 97.

[23] Freaney, C. (2011). Safety culture and safety behaviors among firefighters. Doctoral dissertation, The University of Tennessee, USA.

[24] Kjestveit, K., Tharaldsen, J. and Holte, K. A. (2011). Young and strong: what influences injury rates within building and construction. *Safety Science Monitor*, 15(2), 1-15.

[25] Smith, A. P. ve Wadsworth, E. J. K. (2009). *Safety Culture, Advice and Performance*. Cardiff University, Cardiff, UK.

[26] Basha, S.A. and Maiti, J. (2013). Relationship of demographic factors job risk perception and work injury in steel plants in India. *Safety Science*, 51, 374-381.

[27] Kouabenan, D.M., Nguetsa, R. and Mbaye, S. (2015). Safety climate, perceived risk and involvement in safety management. *Safety Science*, 77, 71-79.

[28] Budakoğlu, I. İ., Bakar, C., Atlı, K. and Akgün, S. (2015). TC Devlet Demir Yolları Behiç Bey Fabrikalarında çalışan işçilerde iş kazaları sıklığı ve bazı risk faktörleri. *Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 8(29).

[29] Camkurt, M. Z. (2007). İşyeri çalışma sistemi ve işyeri fiziksel faktörlerinin iş kazaları üzerindeki etkisi. *TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, 20(6).

[30] Yaşar, A. (2010). Sakarya'da bir inşaat sahasında çalışan işçilerin çalışma koşulları ile iş kazaları geçirme durumları ve ilişkili etmenler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi

Üniversitesi, Türkiye.

[31] Choudhry, R. M., Fang, D. and Mohamed, S. (2007). The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. *Safety Science*, 45(10), 993-1012.

[32] Lee, T. R. (1996). Perceptions, attitudes and behaviour: the vital elements of a safety culture. *Health and Safety*, 10, 1-15.

[33] Guldenmund, F.W. (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*, 34, 215-257.

[34] Pronovost, P. and Sexton, B. (2005). Assessing safety culture: guidelines and recommendations. *Quality and Safety in Health Care*, 14, 231-233.

[35] Von T. T., Terry L. and Gibbons, A. M. (2008). The safety culture indicator scale measurement system. Human Factors Division Institute of Aviation University of Illinois, USA..

[36] Wiegmann, D. A., Von T. T. and Gibbons, A. M. (2007). A review of safety culture theory and its potential application to traffic safety. *Improving Traffic Safety Culture in the United States*, 113, 6-7.

APPENDIX A

Anne Arundel Safety Culture Questionnaire:

- 1.The department is genuinely concerned about safety.
- 2.Leadership provides a positive climate that promotes reasonably safe Fire/EMS operations.
- 3.The number of local and national firefighter deaths and injuries is unacceptable.
- 4.Firefighting has been made about as safe as it can be.
- 5.The department is doing more now to promote safety than in the past.
- 6.Leadership conducts adequate reviews and updates of safety standards and operating procedures.
- 7.The department has a defined process to set training goals and to review performance.
- 8.Leadership closely monitors proficiency and currency standards to ensure firefighters are qualified to function.
- 9.Leadership is actively involved in the safety program and management of safety matters
- 10.Our Health/Safety Policies and Procedures are adequate in communicating standards needed for conducting safe operations.
- 11.Supervisors encourage reporting safety discrepancies without the fear of negative repercussions.
- 12.Co-Workers are willing to report safety violations, unsafe behaviors or hazardous conditions
13. Peer influence is effective at discouraging violations of standard operating procedures, or safety rules.
14. Violations of safety operating procedures are rare.
15. My department has a reputation for high-quality performance.
16. My supervisors closely monitor quality and correct any deviations from established quality standards.
17. Supervisors permit cutting corners to get a job done.
18. I have sometimes felt too fatigued to do my job safely.

-
19. Lack of experienced personnel has adversely affected my station/assignment's ability to operate safely.
 20. Safety decisions are made at the proper levels, by the most qualified people in my command.
 21. Leadership takes the time to identify and assess risks associated with its Fire/EMS operations.
 22. Supervisors do a good job managing risks associated with its operations.
 23. I am provided adequate resources to accomplish my job.
 24. Equipment and facilities are designed with safety in mind.
 25. Operational Risk Management processes are incorporated into decision-making at all levels.
 26. My department would rather lose a building than unnecessarily risk my personal safety.
 27. My supervisor can be relied on to keep his/her word.
 28. Leadership is successful in communicating its safety goals to unit personnel.
 29. Leadership communicates the lessons learned from collision/injury investigations.
 30. Mistakes have actually led to positive changes.
 31. Leadership sets the example for compliance with standards.
 32. Leadership reacts well to unexpected changes to its plans.
 33. My supervisor does not hesitate to temporarily restrict individuals from functioning who are under high personal stress.
 34. I am adequately trained to safely conduct all of my duties.
 35. Morale and motivation at my station/assignment is high.
 36. Leadership provides adequate safety backups to catch possible human errors during high-risk operations.
 37. Good communications flow exists up and down the chain of command.
 38. Safety education and training are adequate in my command.
 39. The Health/Safety Division is well-respected.
 40. I am kept informed of important safety information.

İnsansız Hava Aracı ile Atmosferik Parçacık Örneklemeye Sisteminin Dizaynı ve Yapımı

Design and Construction of Atmospheric Particle Sampling System by Unmanned Aerial Vehicle

Bülent Oktay AKKOYUNLU¹ , İlker ORUC² , Emre ALPMAN³ ,
Barış DOĞAN⁴ , Hakkı BALTACI⁵ 

¹Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Göztepe, İstanbul, Türkiye

²Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kırklareli, Türkiye

³Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Göztepe, İstanbul, Türkiye

⁴Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Göztepe, İstanbul, Türkiye

⁵Gebze Teknik Üniversitesi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Türkiye

Öz

Atmosferik parçacıkların yerel, bölgesel ve küresel kaynaklarını belirlenmesini amaçlayan Pozitif Matris Faktör Analizi, Potansiyel Kaynak Katkı Fonksiyonu, Kimyasal Kütle Dengesi gibi çeşitli nümerik modellerde kullanılan veriler, toplanan aerosol örneklerinden elde edilmiştir. Bu modellerin girdi kaynakları, bir bölgede toplanan parçacıkların analiz sonuçlarından elde edilen verilerdir. Atmosferik parçacıkların toplanması, genel olarak yer seviyesinde kurulan parçacık örneklemeye sistemleri yoluyla gerçekleştirilmektedir. Yer seviyesinde örneklenen parçacıklar üzerinde yerel kaynakların katkısı, sınır ötesi uzun erimli yörüngeye sahip parçacıkların kaynaklarını belirleyen model çıktılarının sağlıklı değerlendirilmesini sınırlamaktadır. Bu çalışmada, model çalışmalarına katkı sağlayacak olan zemin seviyesinden farklı yüksekliklerde parçacık örneklemeye yapabilecek insansız hava aracına yüksek taşınım verimliliğine sahip bir örneklemeye sisteminin tasarlanması amaçlanmıştır. Üretime geçilmeden önce, örneklemeye modülü ile ilgili akışa dayalı basınç ölçüm benzetim (simülasyon) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Parçacık örneklemeye, insanlı hava araçlarında kullanılan tasarımlar incelenerek benzer tasarım insansız hava aracına uygulanmıştır. Model çıktılarında ve uygulamada, yüksek hızlarda insanlı hava araçları için tasarlanan örneklemeye sistemlerinin, düşük hızlı insansız hava araçları için verimli olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: insansız hava aracı, parçacık örneklemeye sistemi, giriş verimi, taşınım verimi

Abstract

The data, which are used on various numerical models such as Positive Matrix Factor Analysis, Potential Source Contribution Function and Chemical Mass Balance and aim to determine the local, regional and global sources of atmospheric particles, are obtained from the collected aerosol samples. The input sources of these models are the results obtained from the analysis of particles collected in a region. Collecting of atmospheric particles is generally carried out through particle sampling systems installed at ground level. Upon particles sampled at ground level, contribution of local sources limits the correct evaluation of the model outputs which determine the sources of the particles with cross-border long range trajectory. In this study, it has been aimed to design a sampling system which has a high efficiency of transportation for an unmanned air vehicle which can carry out particle sampling at various altitudes from ground level which contributes to modelling studies. Before passing to the production phase, simulation works of influx based pressure measurement with regard to the sampling module have been carried out. By observing the designs used in manned air vehicles, a similar design for particle sampling has been applied to unmanned air vehicles. In model outputs and applications, it has been seen that sampling systems designed for high-speed manned air vehicles are not efficient for low-speed unmanned air vehicles.

Keywords: unmanned aerial vehicle, particle sampling system, inlet efficiency, transport efficiency

I. GİRİŞ

Rüzgarlar ve atmosferik türbülanslarla Yeryüzünden atmosfere katılan aerosoller çok çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklara sahiptir. Atmosferik parçacıkların taşınımı küresel ölçekte gerçekleşebilir. Bu taşınım sayesinde, Gobi Çölü'ndeki tozlar Kuzey Amerika'nın batı kıyılarına ve Sahra Çölü'ndeki tozlar Amerika Kıtası'na kadar ulaşabilir. Aerosoller gaz-partikül dönüşümüyle üretilirlerse uzun menzilli taşınımın olması beklenebilir. Bu dönüşüm için gerekli zaman ve bu süreçle üretilen partiküllerin diğerlerine göre küçük boyutta olması bu tür partiküllerin atmosferde kalma sürelerini uzatır [1].

Değişik kimyasal bileşen içeren atmosferik partiküller, pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Doğru verilerin elde edilmesi bakımından, partiküller madde örnekleme çalışmalarında kullanılan teknik önem arz etmektedir. Çoğu aerosol ölçüm teknikleri başlıca iki kategoride değerlendirilebilir. İlki aerosollerin filtre gibi bir tabaka üzerinde toplanıp daha sonra genellikle örnekleme bölgesinden uzakta bir laboratuvarında ölçüm yapılmasıdır. İkincisi ise örnekleme gerçekleştirilirken yerinde ölçüm yapılmasıdır. Aerosol taşınımı, havanın ölçüm cihazına veya filtre yüzeyine bir taşıma hattı yoluyla çekilmesi ile gerçekleştirilir [2].

“NASA's Airborne Science Program” kapsamında bulut fiziği, kasırga ve atmosferik parçacıkları araştırma amaçlı yerinde analize uyumlu kargo uçakları ve sadece örnekleme için insansız hafif hava araçları kullanılmaktadır [3]. Çalışmalar geniş coğrafik ölçeklerde gerçekleştirilebilir. Bulutlarda, kirletici kaynakları bilinen gaz sütunlarında, şehirlerde, arktik sislerde ve stratosferik volkanik bulutlardaki aerosol ölçüm ve analizleri hava araçları kullanılarak yapılmaktadır. Hava araçlarıyla yapılan ölçümler; hava kalitesi [4], stratosferik parçacıklar [5] ve iklim değişimi [6] gibi çeşitli alanların konusudur [7]. Pek çok ölçüm ve örnekleme tekniği; aerosollerin hava aracı dışındaki serbest hava akımından hava aracının kabininde bulunan ölçüm cihazlarına veya hava aracının kanat veya gövdesine monte edilmiş örnekleme ünitesine aktarmayı gerektirir. Hava türbülanslarının atmosferik aerosol ölçümleri üzerindeki etkisini inceleyen deneysel ve teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [8-13]. Hava aracının gövde ve kanatlarındaki türbülanslar, aerosol konsantrasyonunun lokal olarak artması veya azalması sonucunu doğurur. Bu konsantrasyon farkı, eylemsizlikleri nedeniyle parçacıkların stokes sayısının artması ile hava akış yörüngelerinden sapmasının bir sonucudur. Bu etkiler; hava aracının şekli, pervane büyüklüğü, örnekleme noktasının yeri, kanat kalınlığı ve çapı gibi çeşitli etmenlere bağlıdır. Yüzde yüze yakın giriş verimi ve taşınım verimi elde etmeye yönelik bir örnekleme sisteminin tasarımı, bu alanda birçok araştırmanın konusudur [14-24].

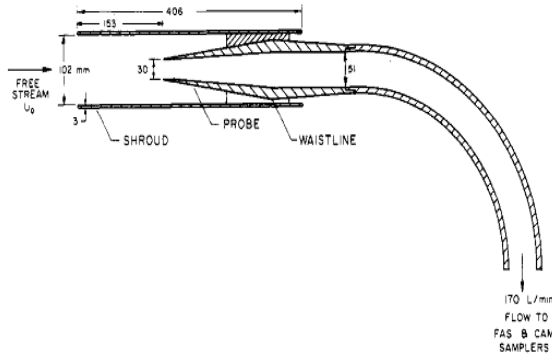
Atmosferik parçacıkların toplanması, genel olarak yer seviyesinde kurulan parçacık örnekleme sistemleri yoluyla gerçekleştirilmektedir. Yer seviyesinde örneklenen parçacıklar üzerinde yerel kaynakların katkısı, sınır ötesi uzun erimli yörüngeye sahip parçacıkların kaynaklarını belirleyen model çıktılarının sağlıklı değerlendirilmesini sınırlamaktadır. Bu çalışmada; parçacıkların yüksekliğe bağlı örnekleme imkânı sağlayan insansız hava aracı ve ayrıca yer seviyesinde ve atmosferin değişik yüksekliklerinde

yüzde yüze yakın giriş verimi ve taşınım verimi elde etmeye yönelik bir örnekleme sistemini tasarlanmış ve sistem test edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Numune toplamak için insansız hava aracı olarak özellikle havadan görüntü çekim işleri için geliştirilmiş bir model uçak (FPV (First Person View)) kullanılmıştır. Uzaktan kumanda ile kontrol edilen uçağa ayrıca otomatik uçuş sağlayan GPS (Global Positioning System) destekli uçuş kontrol kiti monte edilmiştir. Uçuş kontrol kitinin üzerinde barometre tabanlı dahili yükseklik ölçer bulunmakta olup, ayrıca hava akış hızının ölçümü (uçanın havadaki hızının hesabı) için ek algılayıcı bağlanmıştır. Ayrıca kitin sahip olduğu dahili hafızaya uçuş bilgileri (GPS koordinatları, yükseklik bilgileri, hava akış hızı bilgileri, vb.) kaydedilmiştir. Bu özellik sayesinde havadan elde edilecek numunelerin hangi şartlarda, hangi yükseklikte ve hangi bölgeden ölçüldüğü öğrenilmiştir. Uçuş kontrol kitine bağlanabilen telemetri (uzaktan ölçüm ve iletişim) modülü sayesinde uçak ile yer istasyonu canlı olarak iletişim kurabilmektedir. Yer istasyonunda bulunan bilgisayarda yüklü özel bir yazılım aracılığıyla (Mission Planner), harita üzerinden uçağa belirli bir rota tanımlanabilmektedir. Böylelikle uçak tanımlanan rotayı takip edebilmektedir. Aynı zamanda uçuş bilgileri, anında yerdeki bilgisayardan takip edilmiştir. Uçağın ön kısmında bulunan şeffaf kapaklı bölme içerisine uçuş kamerası monte edilmiştir. Kameranın AV (Audio Video) çıkışı OSD (on screen display) modülüne bağlanmıştır. OSD modülü uçuş kontrol kitinden aldığı uçuş bilgilerini video görüntüsü üzerine eklemektedir. OSD çıkışı yine uçağa takılacak video vericiye bağlanmıştır. Yer istasyonunda bulunan alıcılı ekran üzerinden uçağın uçuş görüntüsü ve uçuş bilgileri canlı olarak izlenmiştir.

Model uçak üzerine havadan numune almaya yarayacak özel tasarım kapaklı bir örnekleme sistemi eklenmiştir. Örnekleme sistemi fiziksel olarak bir boruya benzerdir. Sistemin ön tarafında, uzaktan verilecek komutla açılıp/kapanabilir motorlu bir kapak bulunmaktadır. McFarland vd. (1989) tarafından geliştirilen tasarımda kullanılan teknik yaygın olarak kullanılan aerosol örnekleme tekniğidir [25] ve bu çalışmada tercih edilmiştir. Prob etrafında yerleştirilen koni (Shroud) serbest hava akışını yavaşlatmak amacıyla kullanılmıştır. Bu tasarımda prob ile koni arasında aralığın büyüklüğüne bağlı olarak serbest hava akış ile boşluktaki havanın hız oranı ayarlanabilir. Bu tekniği açıklamak amacıyla Şekil 1’de gösterilen çizim McFarland vd.’nin (1989) çalışmalarından alınmıştır [25].



Şekil 1. Aerosol örnekleme sistemi

Örnekleme akımı bir pompa ile hava aracının içine taşınır. Prob nedeniyle sınırlandırılan akış alanı nedeniyle koninin içine giren havanın hızı, atmosferdeki serbest hava akış hızından daha yavaştır. Bu tasarım yarı izokinetik örnekleme kabiliyetine sahiptir. Bu kapsamda aerosol örnekleme sistemleri için benimsenmiş standart bir tasarım veya yaklaşım mevcut değildir ve az sayıda hava aracında kullanılan örnekleme sistemi iyi hesap edilmiş verimliliğe sahiptir [25].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı (İHA) Üretimi

Bu çalışma kapsamında özellikle havadan görüntü çekim işleri için geliştirilmiş bir model uçak kiti alınarak birleştirilmiş, mekanik ve aviyonik bileşenlerinin montajı yapılmıştır. Uçak arkadan itişli tek motora ve yaklaşık 1,7 metre kanat genişliğine sahiptir. FPV olarak da isimlendirilen bu model tipinin seçilmesinin en önemli nedeni, havadan numune alınması sırasında hava akımını olumsuz yönde etkileyecek pervane gibi bileşenlerin uçağın en arkasında olmasıdır. Uçağın üst tarafında, parçacık örnekleme modülünün yerleştirilebilmesi için düz ve geniş bir alanı vardır. Ayrıca uçağın uzun süre havada süzülebilmesi için geniş kanatlara sahip olması ve oldukça hafif olması da diğer tercih sebeplerindedir. Hafiflik özelliği, uçak gövdesinin yapımı için büyük oranda EPO (Expanded Poly Olefin) ve yer yer karbon-fiber ile ahşap malzemelerin kullanılmasından ileri gelir. Uçak taşıyacağı yükün ağırlığı ve kullanılacak batarya kapasitesine göre 1-2 saat havada kalabilmektedir.

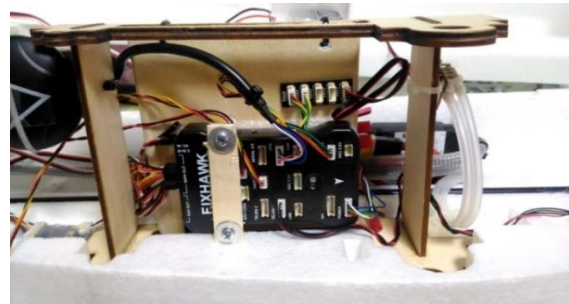
Model uçak montaj için kutusundan çıkarıldığında, gövdesi iki parça kabuk halinde, kanatlar ise ayrı olarak bulunmaktaydı. İlk önce motorun uçağa bağlantısını sağlayacak ahşap parça tasarlanmış ve kesilmiştir. Motor, bu parça üzerine vidalanarak gövdeye monte edilmiştir. Motorun elektrik kabloları, ızgara desenli makron içinden geçirilmiş ve motor sürücüsü (ESC) ile bağlantısı sağlanmıştır. Uçağın kanatçık yönlendirme servoları kanatlara yerleştirilerek, elektriksel bağlantıları yapılmıştır. Sonrasında uçağın havadayken

fark edilmesini sağlayan çakar lambaların montajı yapılmıştır. Uçak yerden kumanda edilirken fark edilebilmesi için lambalardan biri uçağın ön-alt tarafına, uçak havayken diğer araçlar tarafından fark edilebilmesi için diğer lamba uçağın arka-üst tarafına yerleştirilmiştir. Şekil 2’de uçağın gövde arkasına bağlanmış motor, ızgara makron içindeki güç kabloları, arka-üst çakar lamba ve servo bağlantı kabloları görülmektedir. Çakar lambaların elektronik sürücüsü gövdenin orta-alt tarafına monte edilmiştir.



Şekil 2. Uçak gövdesinin birleştirilmemiş haldeki arka tarafı görüntüsü

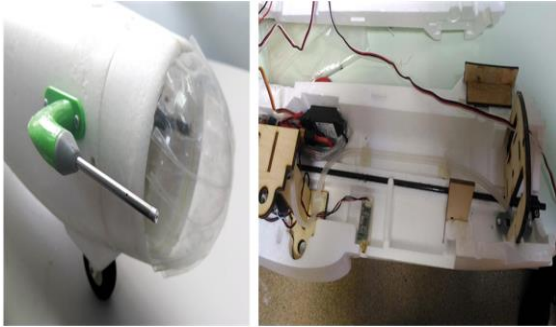
Uçağın hareketini sağlayan itki sistemine ait güç elektroniği bağlantıları tamamlandıktan sonra, uçuş kontrol kartı (aviyonik) ve çevre birimlerinin bağlantıları yapılmıştır. Uçuş kontrol kartı üzerinde 9 serbestlik dereceli açı ölçme ünitesi (SDAÖÜ) ile barometre bulunmaktadır. 9 SDAÖÜ; 3’er eksen ivme, manyetometre (pusula) ve gyro algılayıcılardan oluşmakta ve aracın yer çekimine göre yönü, eğimi gibi verilerin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Hava basıncındaki değişim barometre ile ölçülerek uçan aracın yüksekliği hesaplanmaktadır. Uçuş kontrol kartı, uçağın otonom uçuş ve otomatik dengeleme (stabilizasyon) gibi ileri seviye işlevleri yürütmektedir. Uçuş kontrol kartı, uçağın gövdesinin iç orta bölümüne, ahşap platform üzerine Şekil 3’te görüldüğü gibi monte edilmiştir.



Şekil 3. Uçuş kontrol kartının ahşap platform üzerine montajının yapılmış halinin üstten görüntüsü

Uçuş kontrol kartı bağlantıları yapıldıktan sonra kabuk şeklinde iki parça halinde üretilmiş olan uçak gövdesi özel bir yapıstırıcı ile birleştirilerek son halini almıştır. Uçuş kontrol kartının ileri seviye işlevleri yürütebilmesi için çevre birimlere ihtiyacı vardır. Uçak ile yer istasyonu arası veri iletişimini kuran telemetri modülü, uçağın havadaki hızını ölçen pitot tüpü, uçağın

dünya üzerindeki konumunu belirleyen GPS ve pusula modülü, güç ve ölçüm modülü bu çevre birimlerine örnek olarak verilebilir. Uçağın havadaki ilerleme hızının ölçümü, uçağın havada kalabilmesi için oldukça önemli bir işlemdir. Bu ölçümün yapılabilmesi için pitot tüpü olarak adlandırılan aparat ile basınç farkını ölçen algılayıcı kullanılmıştır. Pitot tüpü ile basınç algılayıcı arası bağlantı hortumlar ile sağlanmaktadır. Hava hızının doğru ölçülebilmesi için pitot tüpü, uçağın üzerindeki en düzgün hava akışının olduğu burun tarafına yerleştirilmiştir. Şekil 4'te uçağın sağ-ön tarafında yer alan ve normalde üzeri koruma amaçlı mavi örtü ile kaplı olan çubuk pitot tüpü ve pitot tüpü ile basınç algılayıcısı arasında döşenmiş olan borular görülmektedir.



Şekil 4. Solda, uçağın sağ-ön tarafında yer alan pitot tüpü; sağda, pitot tüpü ile basınç algılayıcı arasındaki hava hortumları görüntüsü

Uçak itki sistemi, uçuş kontrol kartı, uzaktan kumanda modülü ve çevre bileşenlerinin montajları ile bağlantıları tamamlandıktan sonra özel bir yapıştırıcı kullanılarak, gövdeye ait kabuklar birleştirilmiştir. Daha sonra model uçak üzerine havadan numune almaya yarayacak özel tasarım kapaklı bir örnekleme sistemi eklenmiştir. Bunun sonucunda uçak uçuşa hazır hale gelmiştir. Şekil 5'te parçacık örnekleme modülü ile birlikte uçuşa hazır haldeki uçağın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5. Uçuşa hazır uçağın görüntüsü

3.2. Yer İstasyonu Kurulumu

Hava araçlarının irtifa, havadaki hız, tüketilen enerji, kalan enerji, coğrafi konum, kuzey yönüyle yapılan açı vb. uçuş bilgilerini canlı olarak görüntülemek ve rota planlayabilmek için yer istasyonu kullanılır. Yer istasyonu temel olarak bir haberleşme (telemetri)

modülü, anten, bilgisayar (veya tablet, cep telefonu, vb.) ve uçuş kontrol kartı ile uyumlu özel bir yazılımdan oluşur. Çalışma kapsamında üretilen sabit kanatlı İHA için bir yer istasyonu kurulmuştur. Şekil 6'da görülmekte olan yer istasyonunda bir adet telemetri modülü, 3 dbi anten ve Mission Planner yazılımı yüklü laptop kullanılmıştır.



Şekil 6. İHA için kurulan yer istasyonu görüntüsü

Mission Planner yazılımı, İHA üzerindeki uçuş kontrol kartının kendi telemetri modülü ile yer istasyonuna gönderdiği bilgileri görüntülemektedir. Böylece hava aracının konumu bilgisayar ekranı üzerindeki harita üzerinde canlı olarak görülebilir. Ayrıca Mission Planner yazılımı; uçuş kontrol kartına gömülü sistem yazılımı yüklemek, İHA için rota planlaması yapmak, İHA'nın uçuş kontrol parametrelerini görüntülemek/değiştirmek için de kullanılır. Yazılımın Android işletim sistemini çalıştıran cep telefonu ve tablet gibi mobil cihazlarda çalışan DroidPlanner ve Tower isimli versiyonları da vardır. Uçuş yapılacak bölgenin rüzgar hızı, hava sıcaklığı ve nem oranı gibi atmosferik bilgileri ölçmek için ise anemometre kullanılmıştır.

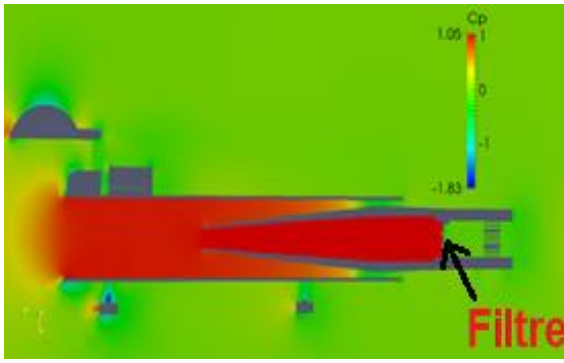
3.3. Parçacık Örnekleme Modülü Tasarımı, Akış Benzetimleri ve Üretimi

İHA uçarken havadaki parçacık örneklerini toplamak üzere özel bir modül tasarlanmıştır. Tasarımda havadaki parçacıkları toplayan bir dış silindir içerisinde 4 adet küçük kanatçıklar ile sonlara doğru tutturulmuş bir iç silindir kullanılmıştır. Dış silindir içine giren havanın, silindirin iç çeperlerine doğru türbülanslıdır. Bu nedenle iç silindir, içeri alınan havanın türbülanssız olan orta bölümü ayırmak için kullanılmaktadır. İç silindirin dar olan girişinin giderek genişlemesi, iç silindir içine alınan havanın akış hızını düşürmektedir. Böylelikle hem iç silindir içinde oluşabilecek türbülansların önlenmesi hem de içeri alınan havanın iç silindirin sonlarına doğru konumlanmış filtre kağıdına daha düşük bir hızda çarparak parçacıklarını bırakması hedeflenmiştir. Dış silindirin önüne bir servo motora bağlı kapak yerleştirilmiş, böylece sadece istenilen irtifa veya bölgeye ulaşıldığında kapak açılarak parçacık örnekleme başlanması sağlanmıştır. İç silindirin filtre kağıdından hemen önceki ve sonraki bölümünde akış hızını ölçebilmek için diferansiyel basınç sensörü bağlantı noktaları oluşturulmuştur. İç

silindirden akan havanın hızı arttıkça filtre önü ile filtre sonrasındaki basınç farkı da orantılı olarak artacaktır. İç silindirin sonuna bal peteği desenli borular yerleştirilerek filtreyi terk eden havanın akış formu da düzeltilmeye çalışılmıştır.

3.4. CFD Model Çalışması

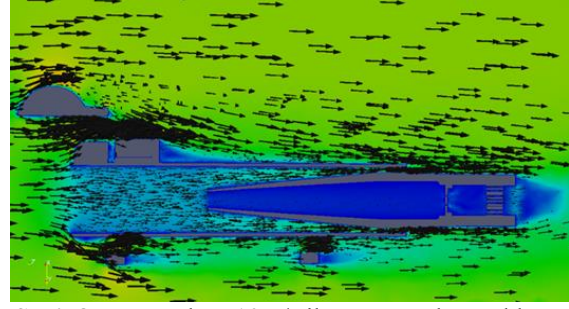
Tasarımdan üretime geçilmeden önce örnekleme modülü ile ilgili akışa dayalı basınç ölçüm benzetim (simülasyon) çalışmaları yapılmıştır. Şekil 7’de örnekleme modülünün tam ortasından geçen bir yüzey üzerinde elde edilen basınç ve hız tahminleri görülmektedir. Benzetim çalışmasında yaklaşık bir milyon elemana sahip yapısız bir ağ oluşturulmuştur. Rüzgar hızı 10 m/s kabul edilmiş ve çözümlerde “RNG k-epsilon türbülans modeli” kullanılmıştır.



Şekil 7. Rüzgar hızı 10m/s iken parçacık örnekleme modülündeki basınç katsayısı dağılımı görüntüsü

Şekil 7’de yeşil bölgeler basınç katsayısının sıfır olduğunu ve atmosfer basıncını, kırmızı renge giden bölgeler basınç katsayısının pozitif olduğunu ve basıncın atmosfer basıncından daha yüksek olduğunu, mavi renge giden bölgeler ise basınç katsayısının negatif olduğunu ve basıncın atmosfer basıncından daha düşük olduğunu göstermektedir. Buna göre içteki silindirin sonuna konmuş filtrenin önünde neredeyse tüm yapı içerisine yayılan ve özellikle iç silindir içerisinde etkisini gösteren bir yüksek basınç alanı olduğu görülebilmektedir. Bu yüksek basınç alanının oluşması örnekleme sistemi içine giren havanın rüzgar yönünün tersine doğru geri itileceği sonucunu çıkarmaktadır.

Şekil 8’de ise parçacık örnekleme modülü yüzeylerindeki hız dağılımları ve hız vektörleri görülmektedir. Şekil 7’deki basınç dağılımları ardından beklendiği gibi örnekleme sistemi içerisindeki akış hızı dışarıya göre daha düşüktür. Ancak burada en dikkat çeken unsur, filtrenin bulunduğu iç silindir içerisindeki akış hızının oldukça düşük olmasıdır. Bu durum da havanın filtreye doğru gitmek yerine kenarlardan dış silindirin (toplayıcının) dışına doğru kaçtığı anlamına gelmektedir.



Şekil 8. Rüzgar hızı 10m/s iken parçacık örnekleme modülündeki hava akış hızı dağılımı görüntüsü

Şekil 8’deki vektör oklarının büyüklüğü, o noktadaki hızın büyüklüğü ile orantılıdır. Bu şekilden havanın iç silindirin içine doğru gitmek yerine kenarlarından toplayıcının dışına doğru kaçtığı görülebilmektedir. Bu nedenle parçacık örnekleme modülünün en arka tarafına bir fan yerleştirilerek filtre kağıdı arkasında bir negatif basınç bölgesi oluşturulmuştur. Böylesi bir fan ekleme ihtiyacı olup olmadığına deneme örnekleri alındıktan sonra karar verilecektir. Proje kapsamında tasarım ve benzetim çalışmalarından sonra üretime yapılmış olan parçacık örnekleme modülünün yandan ve önden görünümü Şekil 9’da görüldüğü gibidir.



Şekil 9. Parçacık örnekleme modülünün yandan (kapak kapalı) ve önden (kapak açık) görüntüsü

IV. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında parçacıkların yüksekliğe bağlı örnekleme imkânını sağlayan insansız hava aracı tasarlanmış, yüksekliğe bağlı atmosferik parçacık örnekleme sistemi geliştirilmiş ve üretime gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sisteminin içindeki silindirin son kısmına konulmuş filtrenin önünde yüksek basınç alanı olduğu görülmüştür. Bu yüksek basınç alanının, hemen hemen tüm yapı içerisine yayılmış ve özellikle iç silindir içerisinde etkisini gösteren bir basınç alanı olduğu gözlenmiştir. Örnekleme sistemi içine giren havanın bu yüksek basınç alanının varlığı ile rüzgar yönünün tersine doğru geri itildiği belirlenmiştir. Filtrenin yer aldığı iç silindir içerisindeki akış hızının oldukça düşük olduğu gözlenmiş, bu durumdan dolayı havanın filtreye doğru gitmek yerine kenarlardan dış silindirin (toplayıcının) dışına doğru kaçtığı belirlenmiştir. Kısacası ilk benzetim çalışması sonuçları, tasarlanan örnekleme sisteminin geometrisinin, havayı filtreye doğru çekme konusunda çok başarılı olmadığını göstermektedir.

Örnekleme aparatının uçağın aerodinamiğinde uçuşu zorlaştırıcı derecede etki yaptığı belirlenmiştir. Parçacık örnekleme modülünün düşük hızlarda örnekleme yapacak şekilde tasarımında değişikliğe ihtiyaç vardır. Hava girişi yerinin dar girişi yerine daha geniş tutulması ve örnekleme modülünün arka tarafına bir fan yerleştirilmesinin sorunu çözeceği öngörülmektedir. Örnekleme modülünün gövdenin içine yerleştirilmesi ve hava girişi için hava akış kanalının gövde altından açılması uçağın aerodinamiğinde uçuşu zorlayan etkileri azaltacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPKO) tarafından FEN-C-DRP-100615-0275 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wallace, J.M., & Hobbs, P.V. (2006). Atmospheric Science: An Introductory Survey, 2.Baskı, Elsevier Inc., San Diego, CA, USA. s. 153-207.
- [2] Kulkarni, P., Baron, P.A., & Willeke, K. (2011). Introduction to Aerosol Characterization. In: Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications, P. Kulkarni, P.A. Baron, & K. Willeke (ed.), 3.Baskı, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA, s. 3-13.
- [3] NASA, (2017). http://www.nasa.gov/topics/earth/features/air_sci_missions_2012.html, (January, 2017).
- [4] Fehsenfeld, F., Hastie D., Chow J., & Solomon, P. (2004). Particle and gas measurements. In: Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment, P.H. McMurry, M.F. Shepherd, & J.S. Vickery (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, s. 159-189.
- [5] Hamill, P., Brogniez, C., Thomason, L., Deshler, T., Antuña, J., Baumgardner, D., Bevilacqua, R., Brock, C., David, C., Fussen, D., Hervig, M., Hostettler, C.A., Lee, S.-H., Mergenthaler, J., Osborn, M. T., Raga, G., Reeves, J. M., Rosen, J., & Wilson, J. C. (2006). Instrument Descriptions, L. Thomason & Th. Peter (ed.), SPARC Assessment of Stratospheric Aerosol Properties (ASAP), 77-106, SPARC Report No. 4, World Climate Research Programme-124 (WMO /TD-1295).
- [6] CCSP, (2009). Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts, Synthesis and Assessment Product 2.3 Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, M. Chin, R.A. Kahn, & S.E. Schwartz (ed.), Washington: NASA.
- [7] Wilson J.C. & Jonsson H. (2011). Measurement of Cloud and Aerosol Particles from Aircraft. In: Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications, P. Kulkarni, P.A. Baron, & K. Willeke (ed.), 3.Baskı, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, USA, pp.655-665.
- [8] Beard, K.V. (1983). Reorientation of hydrometeors in aircraft accelerated flow. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22, 1961-1963.
- [9] Baumgardner, D. (1984). The effects of airflow distortion on aircraft measurement: A workshop summary. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 65, 1212-1213.
- [10] King, W.D. (1984). Air flow and particle trajectories around aircraft fuselages. I: Theory. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1(1), 5-13.
- [11] King, W.D. (1986). Air flow and particle trajectories around aircraft fuselages. IV: Orientation of ice crystals. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 3(3), 433-439.
- [12] MacPherson, J.I., & Baumgardner, D. (1988). Airflow about King Air Wingtip-Mounted cloud particle measurement probes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 5(2), 259-273.
- [13] Twohy, C.H., & Rogers, D. (1993). Airflow and water-drop trajectories at instrument sampling points around the Beechcraft King Air and Lockheed Electra. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 10(4), 566-578.
- [14] Pena, J.A., Norman, J.M., & Thomson, D.W. (1977). Isokinetic sampler for continuous airborne aerosol measurements. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 27(4), 337-341.
- [15] Noone, K.J., Ogren J.A., Heintzenberg, J., Charlson, R.J., & Covert, D.S., (1988). Design and calibration of a counterflow virtual impactor for sampling of atmospheric fog and cloud droplets. *Aerosol Science and Technology*, 8(3), 235-244.
- [16] Huebert, B.J., Lee, G., & Warren, W.L. (1990). Airborne aerosol inlet passing efficiency measurement. *Journal of Geophysical Research*, 95(D10), 16369-16381.
- [17] Jonsson, H.H., Wilson, J.C., Brock, C.A., Knollenberg, R.G., Newton, T., Dye, J.E., Baumgardner, D., Borrmann, S., Ferry, G.V., Pueschel, R., Woods, D.C., & Pitts, M. C. (1995). Performance of a focused cavity aerosol spectrometer for measurements in the stratosphere of particle size in the 0.06–2.0- μm -diameter range. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12(1), 115-129.
- [18] Twohy, C.H. (1998). Model calculations and wind tunnel testing of an isokinetic shroud for high-speed sampling. *Aerosol Science and Technology*, 29(4), 261-280.
- [19] Laucks, M.L., & Twohy, C.H. (1998). Size-dependent collection efficiency of an airborne counter flow virtual impactor. *Aerosol Science and Technology*, 28(1), 40-61.
- [20] Hermann, M., Stratmann, F., Wilck, M., & Wiedensohler, A. (2001). Sampling characteristics of an aircraft-borne aerosol inlet

- system. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(1), 7-19.
- [21] Twohy, C.H., Strapp, J.W., & Wendisch, M. (2003). Performance of a counterflow virtual impactor in the NASA icing research tunnel. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(6), 781-790.
- [22] Huebert, B.J., Howell, S.G., Covert, D., Bertram, T., Clarke, A., Anderson, J.R., Lafleur, B.G., Seebaugh, W.R., Wilson, J.C., Gesler, D., Blomquist, B. & Fox, J. (2004). PELTI: Measuring the passing efficiency of an airborne low turbulence aerosol inlet. *Aerosol Science and Technology*, 38(8), 803-826.
- [23] Hegg, D.A., Covert, D.S., Jonsson, H., & Covert, P.A. (2005). Determination of the transmission efficiency of an aircraft aerosol inlet. *Aerosol Science and Technology*, 39(10), 966-971.
- [24] Chen, J., Conant, W.C., Rissman, T.A., Flagan, R.C., & Seinfeld, J.H. (2005). Effect of angle of attack on the performance of an airborne counterflow virtual impactor. *Aerosol Science and Technology*, 39(6), 485-491.
- [25] McFarland, A.R., Ortiz, C.A., Moore, M.E., DeOtte, Jr., R.E., & Somasundaram, S. (1989). A shrouded aerosol sampling probe. *Environmental Science & Technology*, 23(12), 1487-1492.

Furniture Wastes and Their Environmental Impacts as Being a Different Problem of Our Time

Günümüzün Farklı Bir Problemi Olarak Mobilya Atıkları ve Çevresel Etkileri

Kazım Onur DEMİRARSLAN¹  Deniz DEMİRARSLAN² 

¹Artvin Çoruh University, Department of Environmental Engineering, 08000, Artvin- Turkey

²Kocaeli University, Department of Interior Architecture, 41100, Kocaeli- Turkey

Abstract

Since people could easily and quickly access the items they used, the use-dispose approach was adopted instead of the repair-use process. An outcome of this consumption madness and curiosity related to vanity has been associated with furniture usage. Furniture is in good condition but is replaced by the belief that they are not in trend disposed of without considering any ecological and economic issues. This discarded furniture is typically deposited in solid waste landfills with other household waste and decreases those sites' capacity. Furniture waste, described as giant waste volume, is ecologically harmful because of its chemicals they contain and also causes significant economic losses. Although there are many examples in the world where furniture waste is collected, repaired, and reused, very few municipalities in Turkey can collect such waste and include recycling and reusing it. Besides, there is no inventory in Turkey relating to this waste. Furniture waste examples in the world are presented in this study, and damages to the environment are examined. Furniture waste status is determined by the qualitative research observation method for Istanbul, Turkey's largest furniture and urban low-income market, and Kocaeli, which has been identified as having the highest income inequality in the Eastern Marmara region. In these cities, the methods of using furniture waste were investigated. The aim was to draw attention to the possible damage to the environment by calculating the volume of furniture waste. With this work shaped by the descriptive analysis process, it is intended to lead to other academic studies on accompaniment, complete literature research that is insufficient on the issue and increase awareness of the environmental problems of the increasing consumption of furniture in Turkey. The lack of literature on the amount of furniture and waste disposal in Turkey increases the study's importance.

Keywords: Bulky waste, Environmental Problems, Furniture, Furniture Waste, Waste Management

Öz

İnsanların kullandıkları eşyalara kolay ulaşımı nedeniyle tamir et- kullan düşüncesi yerine kullan-at mantığı yerleşmiştir. Bu tüketim çılgınlığı ve gösteriş merakının bir sonucu da mobilya kullanımınıdır. Kullanılabilecek durumda olan ancak modası geçtiği bahanesiyle değiştirilen mobilyalar hiçbir ekolojik ve ekonomik kaygılara bakılmaksızın atılmaktadır. Atılan bu mobilyalar genellikle katı atık depolama sahalarında diğer evsel atıklarla beraber depolanmakta ve o sahaların kapasitelerini düşürmektedir. İri hacimli atık olarak da belirtilen mobilya atıkları hem içerisinde barındırdıkları kimyasallar nedeniyle ekolojik yönden zararlı olmakta hem de önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Dünyada mobilya atıklarının toplanıp tamir edilerek yeniden kullanımı konusunda birçok örnek bulunmasına rağmen Türkiye'de çok az belediye bu atıkları toplayarak geri dönüşüm-yeniden kullanım sürecine sokabilmektedir. Ayrıca Türkiye'de bu atıklar konusunda herhangi bir envanter de bulunmamaktadır. Yapılan bu çalışmada mobilya atıkları konusunda dünyadaki örnekler verilmiş, söz konusu bu atıkların düzensiz olarak bertarafı sonucunda çevreye olan zararları irdelenmiştir. Mobilya sektörü istihdamı ve Türkiye'de gelirin en yüksek olduğu İstanbul ve gelir eşitsizliğinin en düşük olduğu Doğu Marmara Bölgesinin gelirin yüksek olduğu illerinden biri olan Kocaeli'de mobilya atıklarının durumu nitel araştırmalardan gözlem yöntemi ile tespit edilmiş ve sonuçları ortaya konmuştur. Bu illerde mobilya atıklarının değerlendirme şekilleri araştırılmış, mobilya atıklarının hacminin hesaplanması ile çevreye verebilecekleri zarara dikkat çekilmesi amaçlanmıştır. Betimsel analiz yöntemiyle şekillenen bu çalışma ile Türkiye'de son yıllarda giderek artan mobilya tüketiminin yol açacağı çevre sorunlarına farkındalık oluşturmak, konuyla ilgili diğer akademik çalışmalara yol açmak ve konu hakkında eksik olan literatür çalışmasının tamamlanması amaçlanmıştır. Türkiye'de mobilya atıklarının miktar ve bertarafı konusunda literatür bilgisine rastlanılmamış olması çalışmanın önemini artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hacimli Atık, Çevre Sorunları, Mobilya, Mobilya Atıkları, Atık Yönetimi

I. INTRODUCTION

With the increasing population, an increase is seen in the consumption quantities and habits. These consumptions come in front of us both in the form of raw materials and as energy. Besides the positive advantages of these consumptions on the communities, they also negatively impact the environment. Human beings have used nature, which they considered an infinite source, loutishly, and have destroyed it, and they have neglected environmental assets most of the time [1]. While on one side of the world, the resources are rapidly consumed, on another side,

in some regions, even the most fundamental requirements cannot be met, and this particular constitutes the basis for the concept of sustainable consumption [2]. The rapid consumption of resources brings with it some environmental issues. With the changing of consumption habits, problems such as air, water, soil pollutions, and solid waste issues also come out. When literature and legislation are examined, it is seen that there are various definitions for the concept of solid waste. Solid wastes are defined as solid materials that are no more useful for the consumer but have not lost their economic value and need to be collected and disposed of as per the principles of engineering for the community [3, 4]. Solid waste that is not required and desired to be removed is classified as domestic solid wastes, medical wastes, hazardous solid wastes, agricultural wastes, a waste relating to garden and construction wastes (excavation, etc.) [5].

Since ancient times when humans have chosen a settlement lifestyle, it is mentioned about the concept of furniture [6]. The word furniture originates from Italian concerning its meaning. It was used to define "General name given to movable objects that are used for furnishing places where people sit, eat their meals, work, and sleep; furniture" in the current Turkish dictionary of Turkish Language Society [7]. Furniture is the common name given to fixed and movable objects, which can be used at various places relating to all areas of our daily lives, such as sitting, sleeping, dining, traveling, resting areas and areas where all kinds of objects can be placed and preserved [8]. A furniture is a movable object that enables the living areas to be decorated and furnished for various reasons [9].

Furniture at places such as homes, offices, and schools, that completed their economic lifetimes or became out of fashion, are being randomly disposed in Turkey, or they are placed next to the waste containers to be taken by relevant municipalities. These wastes are categorized as Bulky Wastes (Coarse Wastes) with code no 20 03 07, under the heading of "Other Municipality Wastes" on the list of wastes being provided in Waste Management Regulation date 02.04.2015 with no 29314 (Waste Management Regulation, 2015). Bulky waste is defined as giant wastes being composed of domestic objects such as refrigerators, washing machines, and seats that are not usable and volumetrically large [10]. It is essential to determine the negative environmental effects of this waste, analyse the disposal methods and impacts, assess the working interest in the matter under investigation in the world, and Turkey, to bring a different viewpoint to the solid waste issue that has become important today.

II.MATERIAL AND METHOD

To the determination of furniture waste quantity, diversity, and influence in the world and Turkey and environmental aspects, and socio-economic effects,

taking into account the social aspect of this issue, mainly used qualitative research methods in this study. With the Documentary Method's help, which is one of the qualitative research methods, the literature on the subject has been researched and revealed. The standard dimensions of the furniture used in the houses were found, and the volume of the solid waste landfills was determined. Determining the area to be covered by furniture waste in terms of volume in storage areas means that it will affect the waste storage areas' number and life. Therefore, such a study is essential regarding raising awareness of the role of furniture waste concerning environmental pollution. One of the main factors influencing the furniture consumption, household income levels taking into account in Turkey, observation method of qualitative research was applied in Istanbul and Kocaeli, the highest household income level o in the East Marmara Region. According to the 2019 TUIK data, the region with the lowest income inequality is the Eastern Marmara region. The most high-income province is Istanbul in Turkey (average annual equivalent household used capita income of 40 thousand 749 pounds). Also, Kocaeli is the city with the closest Gini coefficient to zero. These two cities are the two significant metropolises of the Eastern Marmara Region [11]. According to the furniture sector employment data in Turkey, Istanbul in ranking (4353 establishments) first, Kocaeli is the sixth (315 premises) [12]. Furniture change and consumption are significant in these two provinces with high-income levels. Because employment in the furniture sector also includes production and sales, considering the statistical values. The share of spending on furniture after the rent, food, and transportation expenditures of Istanbul rank are first with 5.6 percent. East Marmara Region and Kocaeli have a vital place with 7 percent when the household spending ratios in 2018 are examined [13]. For this reason, furniture wastes have been observed within the boundaries of Kadıköy district of Istanbul province and İzmit district of Kocaeli province, where housing settlement is predominant, at different time intervals from November 2018 until the end of February 2019, using a general screening model and random observation method, documented and interpreted. Thus, the observation (empirical) method, which is one of the qualitative research methods, and the descriptive analysis method, as well as the documentary method, were used to obtain literature data. The data obtained by getting the literature information were analysed. Thus, it was aimed to reveal the environmental effects of furniture waste. It was sought to answer the following questions with the help of solid data obtained from the literature review with direct quotations and revealing the causes and consequences of the investigated situation by using the descriptive analysis method, which is defined as presenting the data obtained during the research of a problem in real life, current context or environment. "What kind of damage does furniture cause to the environment when it has

completed its life and is disposed of as garbage? What kinds of practices should be done to reduce harmful effects on the environment?" As a result, the cause and effect relationships of a current situation are mentioned.

Existing data on household income and furniture production and other information on furniture form the concrete theory, and the analysis of these data and the interpretation of the relationship between furniture waste and the environment constitute the descriptive analysis phase. Because no studies were done on this subject in Turkey, the literature has not been found knowledge about the amount of furniture and disposal of waste. It aims to lead to other academic studies on the subject and is intended to complete the missing literature on the topic and raise awareness of environmental issues about furniture consumption sourced ecological pollution with this study's help.

III. FURNITURE, FURNITURE TYPES AND FEATURES, THEIR USAGE AREAS

Furniture originates from the Italian word "mobili" and French word "meubles," and generally, it has been defined as movable objects and house objects which are used to furnish the sitting areas and for various other useful purposes. As being different from European languages, its usage in English is in the active form of "furnish" and in the name form of "furniture" being derived from the French word "fouriture" [14, 15]. Furniture can be described as durable consumer goods manufactured with various materials and was gained function and form to meet individual requirements in our daily lives [16, 17].

If it is desired to classify furniture, many different types come out. Furniture can be separated as indoor and outdoor furniture according to the places where they are used, as movable and fixed furniture according to their positioning style, as wood, metal, plastic, stone, glass, composite furniture according to the material used, as furniture for individual and collective use according to their usage, as kitchen, living room, office, school furniture according to venues, as living, storage, service, hospital, furniture for the disabled, lighting furniture according to their functions, as movable, semi-mobile and fixed furniture according to their own features in the space, as disassembled (removable) or mounted furniture depending on the installation situation, as children furniture, youth furniture, adult furniture, elderly furniture according to user age groups, as ergonomic furniture, non-ergonomic furniture according to their ergonomic evaluation, as commercially available commercial furniture, normal-standard furniture, high quality expensive furniture according to their economic values [15, 18, 19].

When the materials that are most frequently used in furniture production are evaluated, it is seen that they are wood, paper-cardboard, steel, aluminium, iron,

copper, brass, bronze, glass, plastic, marble, MDF (Medium Density Fibre Board-Medium Density Fibreboard), and chipboard [20, 21]. In particular, massive materials are used in residential fittings such as tables, cabinets, bedsteads, bedside tables, and bookcases; in various office accessories, school desks, and tables. Other materials, such as steel, aluminium, glass, and plastic, are also used in furniture production [22]. Apart from all these, there is also furniture which is manufacture by using reused or recycled materials. Furniture sizes show variations depending on their usage types and places. Average dimensions in the furniture area and the volumes they cover are given in Table 1.

Table 1. Various types of furniture and their average measures [23]

Furniture	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)	Volume (m ³)
Single bed	100	200	35	0.7
Double bed	160	200	35	1.12
Double bed (box spring)	200	200	50	1.60
Commode	35	50	60	0.105
Dressing Table	46	114	78	0.409
Puff	48	48	50	0.1152
Laundry Cabinet (dresser)	50	110	100	0.55
Dress cabinet	60	165	190	1.881
Dining Chair	47	44	46	0.0951
Study desk	85	200	78	1.326
Office desk	85	200	85	1.445
Book Cabinet	35	120	180	0.756
Work Chair	54	50	118	0.31
The resting couch	62	65	83	0.334
Sofa (for 3 people)	87	215	84	1.57
Sofa bed	90	215	83	1.606
TV unit	46	128	175	1.0304

IV. FURNITURE WASTES IN THE WORLD AND IN TURKEY

Furniture used in areas such as houses, offices, schools that have reached the end of their lives or are broken in a state that cannot be used is discarded and treated or disposed of differently depending on the country. These wastes are being used or disposed of in various ways by the relevant countries. According to research being conducted, it was determined that 80-90% of the furniture that is purchased is disposed of after the first six months period of owning them [24]. When furniture wastes in literature are examined, it is seen that wastes come out during the production phase and the usage phase. For example, it is being stated that nearly one-fourth of total furniture wastes being produced in the world are produced in European Community countries. More than 10 million furniture is being disposed of by

producers each year and consumers in EU countries, and these wastes are disposed of at regular storage fields or burned [25]. In the year 2010, 4.1 megaton wood waste has occurred in England; these are reported to be 0.4 megatons of furniture waste [26]. 88% of the wastes generated during the production phase in furniture factories in Brazil have been reported as wood and the rest as metal, plastic, fabric, paper/cardboard [27]. In France, 2 million tons of furniture wastes occur each year, and most of these wastes are being burned or disposed of in common storage areas [28]. According to a study being conducted in Ireland, it has been stated that most of the furniture wastes being part of urban wastes have features enabling them to be reused [28]. In Belgium, nearly 50 thousand tons of wastes occur each year, including house goods and furniture [29]. In a study conducted in metropolitan regions of Australia as covering more than 2500 pieces of households, it was reached to the data that 24 kgs of furniture wastes occur each year per household. It was determined in a study that when these data were transformed into figures, they were equivalent to 800 thousand sofas, 1.65 million dining tables, 3.4 million coffee tables, and 6.85 million chairs [30]. When it was looked at the United States of America, it is seen that in the report being prepared by EPA (the United States Environmental Protection Agency), it is predicted that 9.8 million tons of furniture wastes come out each year. When the sources in literature are examined, it is seen that it is specified that nearly 100 thousand tons of furniture wastes occur each year in Finland and that 70-80% of these wastes have features enabling them to be improved and reused [31, 32].

When Turkey's situation is reviewed, a similar study about furniture wastes could not be found in the literature. Within the survey's scope, furniture waste found at random times and random points in Istanbul and Kocaeli was photographed and given in Figure 1.



Figure 1. Furniture wastes found at different times and random points in Istanbul and Kocaeli [33].

When Figure 1 is examined, it is seen that furniture is composed of types such as sofa, sofa bed, chair, and cabinet and that some of them could be used with a small repair being done. Others are so damaged that they cannot be used. These wastes are taken by municipalities and delivered to common storage areas, and they occupy spaces as per their volumes. In some observed samples, it was determined that furniture that was thrown away by people was broken down and collected for fuel purposes. As a result, these wastes shorten the disposal sites' planned life, or they mix into the atmosphere as harmful gases as a result of their burning. Besides, it causes environmental pollution and visual pollution at the place where the wastes are collected. Wood, metal, plastic, and textile contents are noteworthy in furniture that cannot be used, and these can be used as raw materials after recycling. Pieces of furniture, mostly metal and glass accessories, are dangerous in being hurtful to the living creatures around.

V. FURNITURE WASTES AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS

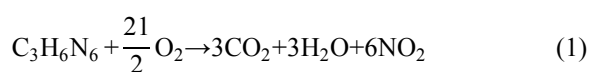
In the woodworks and furniture sector, usage of raw materials, production process, and distribution of products, their being burned after completion of their usage lifetimes, or their being reused for various purposes causes very different environmental impacts. The life cycle of furniture takes place in successive stages, from the forest to the end product furniture production, and the aging of furniture during its use. Afterward, these materials can be burned or used by recycling. Furniture that is considered among durable consumption goods is produced in various numbers and types, and their usage lifetimes show variations. This period is 10-15 years on average, but it can be as much as 50 years. After cutting trees, which are the raw materials of furniture products, chemicals such as wax emulsion, polyvinyl emulsion, and aluminium are used on the timber ends.

Furthermore, to avoid trees being impacted by bacteria and fungi during storage and transporting, certain chemical materials are being used. On the other hand, environmental damages occur in furniture production, especially in glue and surface treatments. Since urea, phenol, and melamine ($C_3H_6N_6$), formaldehyde (CH_2O) adhesives harden due to chemical reaction, a large amount of formaldehyde is released drying. In various colouring solutions being used for surface treatments, multiple substances can cause cancer or have carcinogenic features. Auramine ($C_{17}H_{21}N_3$), benzidine ($C_{12}H_{12}N_2$), aminoazobenzol, and amino naphthalene are in this group. Benzol (C_6H_6), dichloroethane ($C_2H_4Cl_2$), dichloromethane (CH_2Cl_2), dioxin, tetrachloromethane (CCl_4), and trichloroethylene (C_2HCl_3) are also substances having carcinogenic effects among melters and thinners which are used for both colouring and protection during surface treatments. Binders used for particle boards, which can

also be used in furniture production, are based on urea-formaldehyde or melamine-formaldehyde resin. Glues that are used in furniture works also contain the same substance. Formaldehyde is a colourless, toxic chemical substance with a strong odour used in the production of glues in wood-based panels such as medium density fibreboard (MDF), particleboard, and plywood. The formaldehyde emission caused by wooden-based materials bears importance due to its environmental and health impacts [34, 35]. Besides all of these, in furniture, there are fire retardants, which are collected in five main groups: bromine, chlorine, phosphorus, nitrogenous and inorganic compounds according to their chemical structure and polybrominated diphenyl esters (PBDE), which are mainly used in flooring and are fire retardant [36]. It is required for specific standards to be complied as mandatory to avoid fires, named 'Small Open Flames', which can originate from matches, candles, and oil lamps related to furnishing materials used in furniture. For this purpose, there are 16 different types of chemicals available in the USA. These chemicals are hexabromocyclodecane ($C_{12}H_{18}Br_6$), Decabromodiphenyl oxide ($C_{12}Br_{10}O$), alumina trihydrate ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$), zinc borate ($B_2O_6Zn_3$), ammonium polyphosphate ($(NH_4PO_3)_n(OH)_2$), phosphonic acid (H_3PO_3), tetrakis (hydroxymethyl) phosphonium chloride ($[P(CH_2OH)_4]Cl$), antimony trioxide (Sb_2O_3), ammonium pentoxide, sodium antimonate ($NaSbO_3 \cdot 3H_2O$), calcium and zinc molybdate, Organic phosphonates, cyclic phosphonate esters, trichloro phosphate and chlorinated paraffin [37]. For example, on an average couch there are 63% chipboard, 9% foam, 8% wool-cotton, 8% timber, 8% low-alloy steel, 3% polyester, 1% flame retardant and 1% melamine [38].

When furniture containing chemicals, as mentioned above in their structures, are randomly disposed of, it will be inevitable for these chemicals they have to mix with water and soil in time. Besides, it is known that various chemical substances would be released into the atmosphere due to the combustion of these wastes at waste storage areas or their being disintegrated by people to be used for heating purposes. Products that could be released due to the combustion of some of the chemicals mentioned above have been defined in the below equations.

For example, as a result of burning an item of furniture made with glue containing chemicals such as melamine and formaldehyde;

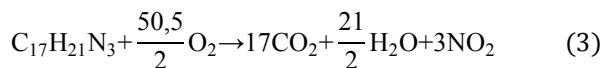


(depending on temperature)

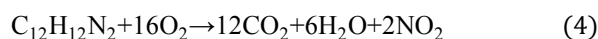


Emissions would mix with the atmosphere.

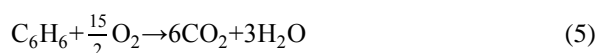
As another example, while burning of furniture in the production of which colouring and/or thinning substances containing chemicals such as auramine, benzidine, benzol have been used;



(depending on temperature)



(depending on temperature)



would come out.

Furthermore, components such as dioxin would form with the burning of furniture containing substances having carcinogenic impacts such as dichloroethane ($C_2H_4Cl_2$), dichloromethane (CH_2Cl_2), dioxin, tetrachloromethane (CCl_4), and trichlorethylene (C_2HCl_3). Dioxins are by-products containing C, H, O, and Cl in their structures, which are colourless, odourless, and non-water soluble and released during burning process in an environment low with oxygen as not being desired [39]. Due to the application of chemicals to make the wooden materials used in furniture to become durable, recycling and reuse of furniture wastes were prevented [40]. Besides, with the burning of these wastes, emissions such as NO_x , heavy metal, PCDD/F (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans) would increase.

If these wastes are delivered to common storage areas, they could occupy volumes specified in Table 1, and they would shorten the lifetimes of storage fields. For example, if a sofa bed is thrown, it will occupy an average space of 1.6 m^3 , a single-seat would occupy an area of 0.334 m^3 , a dining chair would occupy a space of 0.0951 m^3 , and a library would occupy an area of 0.756 m^3 . As a result, in place of storage areas, whose lifetimes would be quickly expired, it would be required for new areas to be found, which would give rise to environmental and economic problems.

VI. REUSAGE AND RECYCLING OF FURNITURE WASTES

Waste policies of countries in the world have been generally adopted as being "zero waste economy." Economic issues, climatic, and environmental protection laws are essential in how the wastes will be disposed of [26].

Disposal of furniture waste, which contains various chemicals, causes various problems to occur. Furthermore, waste wooden materials may constitute a

potential resource for the production of different materials and products. However, one of the factors influencing the usage of these wastes is related to energy consumption during their carriage and processing, and the pollution created in this respect [41]. Besides, as the furniture is produced from different materials, the prediction of environmental impacts beforehand is quite difficult. On the other side, the dissemination of disposable culture constitutes an important reason which increases non-quality aspects of furniture. Generally, many of the new furniture cannot be used after a few years.

Furthermore, when these products are exposed to moisture, many of them are quickly swelling and getting decayed [30]. One of the factors that make it harder to recycle furniture and wooden wastes is the difficulty of separation. Besides, only a small amount of recyclable materials can be obtained from these wastes [42].

Furthermore, non-quality materials used in the manufacturing of furniture both shorten their lifetimes and make it impossible for them to be reused. The unconsciousness of consumers and lack of spare parts of furniture are among the factors which increase waste amounts in general. Besides, the chemical substances used in furniture cause additional difficulties and costs for people dealing with recycling works. Collection, carriage, and repair of furniture are quite costly processes. Even if all of these would be realized, low demand for second-hand furniture constitutes another reason why waste amounts get increased [25].

Recycling and reuse of furniture wastes cause various positive outcomes, both concerning economic and environmental aspects. For example, reuse of 1 ton of sofa avoids releasing 1.45 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas into the atmosphere. These equals 55 kgs CO₂ equivalent greenhouse gas per couch. When it is looked at in England, it is seen that nearly 100 thousand pieces of dining tables are reused each year. 17% of waste tables are being disposed of, and the remaining portion of 83% is being used through recycling. In this way, with 1 ton of dining table, it is avoided for 0.38-ton CO₂ equivalent greenhouse gas to be released into the atmosphere—this equivalent to 10 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas per table [43]. Besides, 200000 pieces of office tables (nearly 5000 tons) are being reused in England each year. As a result, releasing 3600 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas is being avoided each year. When it is looked at office chairs, it is seen that 295.000 pieces of office chairs are being reused each year. With the reuse of one ton of office chairs, releasing 3 tons of CO₂ equivalent greenhouse gas is being avoided, and releasing 35 kgs of CO₂ equivalent greenhouse gas per chair the same way [43]. CO₂ equivalent emission release savings achieved through furniture recycling can be foreseen as given in Table 2.

Table 2. CO₂ equivalent emission release savings achieved through furniture recycling [44]

Furniture Waste Management	Dining Table (ton)	Sofa (ton)	Office Chair (ton)	Table (ton)
Reuse	0.38 ton	1.45 tons	2.96 tons	0.4 ton
Repair-reuse	0.76 ton	1.05 tons	2.65 tons	0.2 ton

As shown in Table 2, the usage of different furniture without processing or repairing them has prevented releasing a significant amount of CO₂ equivalent greenhouse gas.

Reuse of furniture products bears significant importance concerning providing employment opportunities besides providing environmental benefits. For example, the employment rate is created due to the reuse of one ton of material, exceeding the recycling rate [28]. Furthermore, this enables the purchasing of second-hand materials for people being forced to buy new furniture, with the reused furniture sector. It is stated that with the reuse of wastes, savings worth 720 million Sterling were generated in England, and those savings worth 40 million Euro were generated in Australia [28]. With the regulation being issued in France, it is aimed to achieve reuse and recycling with a ratio of 45% for house furniture and 75% for workplace furniture [28].

Reuse of waste furniture is not only related to wastes, and it has also become a project considered to be necessary to reduce poverty in EU countries. It is considered to be a fundamental requirement to make waste furniture reach those in need. According to the EU scenario, it aims to reuse 30% of waste furniture until the year 2025 and reuse 35% of them until the year 2030 [44].

Furniture banks are being established in various countries. These are a vast storage place where all waste furniture is accepted, repaired, and delivered to those in need. These places collect the used furniture and give them to those in need, such as families with low incomes or disaster victims. But the problem here is related to a lack of hygiene concerning the furniture. For this reason, furniture is being cleaned by using methods such as heat treatment, pressure CO₂ application, vacuuming, steam application [45].

It is seen that these wastes are classified as bulky wastes and that they are administered accordingly when the situation relating to furniture wastes in Turkey is reviewed. There are also studies on furniture waste in Istanbul and Kocaeli provinces where the observation study was conducted. The Istanbul Metropolitan Municipality has initiated delivering furniture wastes

after the Furniture and Recycling Workshop's necessary procedures to needy families through the centre's teams [46]. A facility has also been established by the Istanbul Metropolitan Municipality, where different usage objects are produced from furniture that has completed its life cycle [47].

Kocaeli Metropolitan Municipality and district municipalities started collecting and recycling furniture wastes in public institutions and schools within the scope of the Zero Waste Campaign. For example, 352 thousand 130 kgs of voluminous waste (Armchair Sofa, Furniture, etc.) disposed of by the Körfez Municipality were recycled [48]. It is stated that Kocaeli Kartepe Municipality picks these wastes and that they are delivered to IZAYDAS, being located in the same city for them to be disposed of [49]. However, it is not specified whether furniture wastes are separated or not. Again, it is stated that the sofa bed, armchair, table, and chairs are taken from the relevant addresses by the teams that are part of the Gebze Municipality in Kocaeli [50]. However, there is no information about how it is disposed of this collected furniture waste. It has similar trials in other big cities in Turkey.

With the URBANREC Project carried out by the Bornova Municipality of Izmir and Izmir Institute of Technology together, it is enabled for significant domestic waste to be transformed into recycling products with economic values. It is stated that large volume products such as house furniture, plastic garden furniture, and home textile products can be used this way. Among the wastes collected within this project's scope, those that can be used are being delivered to the citizens in need through the conventional bank of goods. Those whose usage lifetimes have expired are transformed into new raw materials [51, 52]. Waste electrical and electronic equipment and bulky wastes such as armchairs and sofas are being collected from houses, commercial, and corporate workplaces by Gaziantep Şehitkamil Municipality, and they are gained for recycling [53]. Local governments have initiated furniture waste in Turkey to impart the recycling effort to create awareness of environmental protection is a significant development.

VII. DISCUSSION AND CONCLUSION

Due to the increasing technological know-how, the designs, functions, and places of use of furniture are highly developed and nowadays furniture is a consumption object rather than a need. As a result, although they are functional, furniture is dumped in the environment or garbage dumps, thinking that they are out of fashion. However, as can be seen, furniture is a significant hazardous waste. Also, the furniture consists of many chemicals. When the furniture is manufactured, various chemicals are being used. When this furniture is thrown, they mix with water, soil, and air in time. In the studies investigated within the scope of the study, the damage of furniture to the environment

is clearly seen. Furthermore, if these wastes are burned for heating purposes, some emissions can mix with the atmosphere.

When furniture wastes are collected by local administrations and disposed of at solid waste storage areas, they occupy spaces equalling their volumes and they shorten the planned lifetimes of these fields. As a result of all these particulars, scheduled lifetimes of storage areas expire much earlier, and it is required to search for new sites. In many countries in the world, furniture wastes are being used. In various countries, furniture banks are being established, and they take a waste of furniture from the houses and repair them, if required, deliver them to those in need. With the recycling and reuse of furniture wastes, positive outcomes are achieved concerning economic and environmental aspects. When it is examined by economic respect, a significant employment rate can be performed with the reuse of furniture products.

According to this research, there are very few attempts to manage waste furniture in Turkey. However, the introduction of return studies about furniture made by local waste management can be considered a positive result in creating awareness of Turkey's environmental protection. Municipalities should establish furniture banks in each city as per the examples existing in the world. Accordingly, each municipality should pick up the waste furniture from their places, and they should repair them if required, and by meeting hygiene conditions, they should deliver them to those in need. New and different furniture can be produced from the type of furniture that cannot be used, and recyclable wastes such as metal, plastic, and fabric materials can be used as raw materials for different purposes. In this regard, it is required for furniture designers and furniture producers to give more weight to environmentally friendly furniture designs and production. Besides the furniture that is not consumed quickly, that does not become out of fashion fast and that are functional and modular, the designing and production of furniture that will be reused after their function is completed or the wastes of which will be reused bears significant importance concerning the particular of sustainability. As it is also revealed with this study, designing, manufacturing, after manufacturing situations of furniture necessitate an interdisciplinary work to be done.

REFERENCES

- [1] Tıraş, H., (2014). Sustainable development and environment: An examine in theory. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, 2(2), 57-73.
- [2] Atrek B., Madran C., (2017). Studies of sustainable consumption from consumer perspective: A Systematic review on Turkish literature. *Journal of Marketing and Marketing*

- Research*, (19) 1-31.
- [3] Armağan, B., Demir, İ., Demir, Ö and Gök, N., (2006). Katı atıkların ekonomide değerlendirilmesi, İstanbul, İstanbul Ticaret Odası, Yayın No: 2006-23, p. 16
- [4] Yılmaz, A., Bozkurt, D., (2010). Urban solid waste management applications in Turkey and Kukab case. *Suleyman Demirel University the Journal of Faculty of Economics and Administratives Sciences*, 15(1), 11-28.
- [5] Paker, B, Taş, N., (2017). Investigation of architect's effect on construction and demolition waste formation in sustainable construction process: example of Bursa. *Journal of Yalvaç Akademy*, 2(1), 88-98.
- [6] Demirarslan, D., (2019). The history of sitting furniture in ancient period and the reflections of historical process. *Art-e ART--E Art Journal of SDU Fine Arts Faculty*, 12(23), 238-270.
- [7] Tatlısu E., (2015). Investigating the relationship between furniture and accessories manufacturers in new product development processes in Turkish furniture industry. Master's Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science, Turkey, p.7.
- [8] Üst S., (2015). Analysing furniture characteristics in the context of interaction between residential interiors and furniture. *Journal of Faculty of Fine Arts and Design*, 1(15), 103-118.
- [9] Okcu, O, Morkoç, D.K., (2017). Determining the preferences of customers for furniture: a research on the social media. *Journal of Advanced Technology Sciences*, 6(3), 72-84.
- [10] Savaş E., Korkanç M., (2010). Geological-geotechnical investigation of the Kırıkkale solid waste landfill area. *Journal of Geological Engineering*, 34(2), 133-154.
- [11] Turkey Distribution of Income and Living Conditions Survey, TUIK, 2019.
- [12] The Republic of Turkey, Ministry of Development, Tenth Development Plan, 2014-2018, Furniture Working Group Report 2023.
- [13] <https://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30585> (June, 2020).
- [14] Onur, S., (2000). A method suggestion on factors affecting furniture formation and designer user factor, (In Turkish). Phd Thesis, Mimar Sinan University, Institute of Science, Turkey, p.5.
- [15] Kaynak, F., F., (2019). The effect of furniture design on identity, (In Turkish). Master's Thesis, Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Science and Technology, Turkey, p. 15.
- [16] Uysal E.R., (2019). Durability and aesthetic optimization in industrial furniture (In Turkish). Master's Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey, p.15.
- [17] Gence, U., (2001). Determining the materials and rates of loss in the production of some particular types of furniture in Turkey (In Turkish). Master's Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey, p. 17.
- [18] Erdem, T., (2007). Overview of furniture history and Art Deco, (In Turkish). Master's Thesis, Istanbul Culture University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey, P. 3.
- [19] Dinçel K., Işık Z., (1979). Furniture art history, 1. Baskı, Meb Basımevi, İstanbul, Turkey, p. 23.
- [20] Design Decisions, Furniture Materials and Characteristics, <https://4h.unl.edu/documents/furniturematerials.pdf>, (April, 2018).
- [21] Furniture Materials, <https://www.onlinedesignteacher.com/2016/02/furniture-materials.html>, (June, 2019).
- [22] Kurban H., Kaygın B. and Tankut A.N., (2016). The usage of anthropometric measurement and ergonomic analysis in furniture design. *İnönü University Journal of Art and Design*, 6(13), 313-320.
- [23] Güneş S., (2011), Mobilya ve İç Mekân Tasarımı Alanı Ders Notları, <http://ahsapteknolojisi.blogspot.com/2011/01/donat-elemanlar-olculeri.html>, (March, 2020).
- [24] Rearranging the Furniture, An RSA Great Recovery Design Residency in Collaboration with SUEZ Recycling and Recovery UK, https://www.thersa.org/globalassets/pdfs/reports/rsa_great_recovery_rearranging_the_furniture_090915.pdf, (January, 2020).
- [25] Circular Economy Opportunities in the Furniture Sector, European Environmental Bureau (EEB), <https://eeb.org/publications/80/product-policy/51266/report-on-the-circular-economy-in-the-furniture-sector.pdf>, (January, 2020).
- [26] Wood waste: A Short Review of Recent Research, <http://www.defra.gov.uk>, (January, 2020).
- [27] Caetano, M.D.D.E., Depizzol, D.B and Reis, A.O.P., (2017). Analysis of solid waste management and improvement proposal: a case study in carpentry of Cariacica-ES, *Gest. Prod.*, 24(2), 382-394.
- [28] Extended Producer Responsibility and the Role of Reuse Activities: Opportunities for a Resource Efficient, Socially Inclusive Waste Management System, With Financial Support from the European Commission, http://www.rreuse.org/wp-content/uploads/EPR_and_product_reuse.pdf, (February, 2020).
- [29] Being Wise with Waste: The EU's Approach to Waste Management, European Commission, <https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/waste%20brochure.pdf>, (February, 2020).
- [30] Landfill: Australia's 'Underground' Furniture Movement, <https://blog.handcrafted.com/landfill-australias-underground-furniture-movement/>, (February, 2020).

- [31] Advancing Sustainable Materials Management: Facts and Figures 2013, United States Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/advancing-sustainable-materials-management>, (February, 2020).
- [32] Any Space, Anyone, And Anything Can Be Inspiring, <https://download.architonic.com/pdf/310/0265/martela-inspiring-spaces.pdf>, (February, 2020).
- [33] Demirarslan K.O. Personal Photo Archive
- [34] Sofuoğlu, S.D, Kurtoğlu A. (2016). Ağaç işleri ve Mobilya Endüstrisinde Çevresel Değerlendirmeler, *Mobilya Dekorasyon Dergisi*, 133, 104-114.
- [35] Subaşı, T., Çınar, H and Çağatay, K., (2017). The effect of composite materials used in the furniture sector to human life and environment. *Journal of Advanced Technology Sciences*, 6(3), 557-571.
- [36] Turan, G., (2013). Assessment of major environmental effects encountered in furniture production processes in terms of labour health, (In Turkish). Master's Thesis, Namık Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Environmental Engineering, Turkey, p.26.
- [37] Aksakal, N., Vaizoğlu, S.A and Güler, Ç., (2005). Chemicals in furniture and their effects on health. *Journal of Continuing Medical Education*, 14(12), 268-272.
- [38] Benefits of Reuse Case Study: Domestic Furniture, http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Domestic%20Furniture%20chapter_final.pdf, (February, 2020).
- [39] Güler, Ü, Kundakçı, Ö., (2014). Dioxin and dioxin-like compounds and their effects on human and environmental health. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 4(1), 71-75.
- [40] Moreno, A.I., Font, R and Conesa J.A., (2016). Characterization of gaseous emissions and ashes from the combustion of furniture waste. *Waste Management*, (58) 299-308.
- [41] Top, Y., (2015). Waste generation and utilisation in micro-sized furniture-manufacturing enterprises in Turkey. *Waste Management*, (35) 3-11.
- [42] Hiramatsu, Y., Tsunetsugu, Y., Karube, M., Tonosaki, M and Fujii, T., (2002). Present state of wood waste recycling and a new process for converting wood waste into reusable wood materials. *Materials Transactions*, 43(3), 332-339.
- [43] Benefits of Reuse Case Study: Domestic Furniture, http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Domestic%20Furniture%20chapter_final.pdf, (February, 2020).
- [44] Advancing Resource Efficiency in Europe, Indicators and Waste Policy Scenarios to Deliver A Resource Efficient and Sustainable Europe, European Environmental Bureau, http://makeresourcescount.eu/wp-content/uploads/2014/11/Final_Advancing-Resource-Efficiency-in-Europe_PUBL.pdf, (February, 2020).
- [45] Reusing and Recycling, Furniture in Rural Communities, <http://www.newmoa.org/solidwaste/projects/bulky/furniture.pdf>, (February, 2020).
- [46] <https://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30585> (June, 2020).
- [47] <https://www.ibb.istanbul/News/Detail/36450> (June, 2020).
- [48] <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/kocaeli/korfez-de-buyuk-geri-transformation-move-10960051>, (June, 2020).
- [49] Kocaeli Haberleri: Hacimli Atıklar Kartepe AGM İçin Sorun Değil, <https://www.hurriyet.com.tr/hacimli-atiklar-kartepe-agm-icin-sorun-degil-37161995>, (January, 2020).
- [50] İri Hacimli Atıklar Ücretsiz Alınıyor, <http://www.gebzegazetesi.com/gundem/iri-hacimli-atiklar-uccretsiz-aliniyor-h17434.html>, (January, 2020).
- [51] Kentsel atıklar kazanca dönüşüyor, <https://www.temizmekan.com/kentsel-atiklar-kazanca-donusuyor/> (May, 2020).
- [52] Dönüşüm hareketi, <https://www.milliyet.com.tr/egedonusum-hareketi-2625318>, (January, 2020).
- [53] Şehitkamil Belediyesi Geri Dönüşümde Bir İlke Daha İmza Attı, <https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/gaziantep/sehitkamil-belediyesi-geri-donusumde-bir-ilke-daha-imza-atti-12649963>, (January, 2020).

Normalleşme Sürecinde Ofis Çalışmalarında Covid-19'u Önlemede Balık Kılçığı Yöntemi ile Sebep Sonuç Analizi

*Cause and Effect Analysis of Preventing Covid-19 in Office Works During Normalization
Process by Fish Bone Method*

Hasan ÖLMEZ¹ , İsmail ERGUN² , Müge ENSARİ ÖZAY³ , Emine CAN⁴ 

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği, Trabzon

²İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, İstanbul

³Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul

⁴İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Öz

COVID-19 hastalığının bulaşma hızını yitirdiği normale dönüş sürecinin başlangıç günlerinde, Dünya Sağlık Örgütü ve Uluslararası Çalışma Örgütü işyerleri için yapılması gerekenlerle ilgili geniş yelpazeli öneri ve çağrılar yapmaktadır. Buna rağmen, güncellenmesi gereken ilk adım olan işyeri risk değerlendirmesine özgü bilimsel çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada, COVID-19 hastalığının gölgesinde normalleşme sürecinin işe dönüş kapsamında ofis çalışmaları için risk değerlendirmesi ve etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında virüsün bulaşma riskinin olası nedenleri sebep-sonuç analizi olarak da adlandırılan balık kılçığı diyagramı kullanılarak belirlenmiş ve COVID-19 hastalığına yakalanmamak için, risklere bağlı olarak alınması gereken önlemlerin neler olması gerektiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, COVID-19 hastalığının çoğunlukla 6 temel sürecin risklerinden kaynaklandığı görülmüştür. Bu temel süreçlerin bileşenleri, ulaşım, giriş-çıkışlar, çalışma ortamı, toplantı ve eğitimler, ortak kullanılan alanlar ve çalışanlar olarak belirlenmiştir. Alınması gereken en önemli üç önlem ortaya konulmuştur. Bunlardan birincisi, salgın hastalık eylem planının hazırlanarak görev tanımları ve faaliyetler açısından sürekli olarak uygulanabilir şekilde güncel tutulması ve denetlenmesidir. İkincisi, ofis yönetimlerinin alınan önlemlere uyma konusunda çalışanlara örnek olmasıdır. Son olarak, üçüncüsü önlem ise, işyerine giriş-çıkışlarda ateş ölçümü gibi COVID-19'a yönelik semptomların sorgulanması ve takip edilmesi olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, örnek bir KOBİ seçilerek, Uluslararası çalışma örgütü (ILO)'nun yayınladığı, KOBİ'ler için "Altı Adımda Covid-19 İş Sürekliliği Planı" dokümanı rehberliğinde, elde edilen risk değerlendirmesi sonuçları da göz önünde bulundurularak, İş Sürekliliği Planı hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Salgın, COVID-19, ofis çalışmaları, risk değerlendirme, iş sağlığı ve güvenliği, balık kılçığı yöntemi

Abstract

At the beginning of the normalization process, where COVID-19 has lost the rate of infection, the World Health Organization and the International Labor Organization make a wide range of suggestions and calls about the needs to be done for workplaces. Nevertheless, the scientific studies specific to workplace risk assessment, that needs to be updated at the first step, are very limited. In this study, risk assessment and effect for office studies were examined as part of the normalization process to return to work during COVID-19 pandemic. Within the scope of the study, the possible causes of the risk of infection of the virus were determined using the fish bone diagram, also called cause-and-effect analysis, and in order not to suffer COVID-19 disease, it was emphasized what measures should be taken depending on the risks. As a result, it was examined that COVID-19 was mostly caused by the risks of 6 basic process. The components of these fundamental processes are identified as transportation, entrance and exits, working environment, meetings and educations, common areas and employees' individual behaviors. The three most important measures are investigated. The first one is the preparation of the epidemic action plan and keeping it up to date and supervised in terms of mission definitions and activities. The second one is being example of office administrators for employees in terms of complying with the measures taken. At last, the third one is questioning and following the symptoms for COVID-19 such as measuring fire at entrances and exits to the offices. In addition, the business continuity plan was prepared for a selected SME by taking into account the risk assessment results under the guidance of the "Six-Steps Covid-19 Business Continuity Plan" published by the International Labor Organization (ILO).

Keywords: Outbreak, COVID-19, office works, risk assessment, occupational health and safety, fish bone method

I. GİRİŞ

Hayatta kalan, türlerin en entelektüelleri veya en güçlüleri değil, içerisinde bulunduğu değişken ortama en iyi uyum sağlayabilendir [1]. Dünya son üç aydır yoğun bir şekilde, her yerde var olan, görünmez, hızlı ve gelişigüzel hareket eden bir düşmanla savaşıyor. İnsanların dünyada barış ve ilerleme arayışında, onlarca yıl boyunca engelleri

ve sınırları ortadan kaldırması, ticari, sosyal ve kültürel bağlantılar kurarak tüm rekabetleri daha dar bir çemberde yaşatması, insanlık tarihinin gelişimine büyük katkılar sağlamasına rağmen, COVID-19 gibi bir düşman için de mükemmel ortamı yaratmıştır.

Dünya bir daha asla aynı olmayacak ve çoğumuz için, şimdiki zamanın ve hayatta kalmanın ötesini aklımıza getiremeyiz düşüncesi ne kadar doğrudur? Cevap ne olursa olsun, yalnızca geçmişini anlamaya çalışarak ve mevcut koşulların alışkanlıklarımızı ve davranışlarımızı nasıl etkileyeceğini düşünerek önümüze bakmaya başlayabiliriz. Geline nokta dikkatimizi sadece hayatta kalmaya değil, aynı zamanda uyum sağlamaya da çevirmemiz gerekmektedir. Toplumlardaki ve özellikle iş dünyasındaki çalışanlar ve işverenlerin, bu krizin nüfusun ruhunu ve davranışlarını nasıl değiştireceğini anlamaları için pandemi sürecinde yaşananları özümsemeleri ve sonrasındaki manzarayı iş sağlığı ve güvenliği açısından dikkate alarak hassas bir öngörüye sahip olmaları gerekecektir.

Dünya sağlık örgütü (DSÖ) tarafından SARS-CoV-2 olarak adlandırılan virüsün neden olduğu COVID-19 hastalığının hüküm sürdüğü pandemi, insanoğlu için bambaşka bir yaşam ortamı doğurmuştur. Bu süreçte bireylerin bir kısmının veya zaman zaman tamamının evlerinde kalmalarından dolayı özellikle gıda, enerji, iletişim vb. sektörlerle ihtiyaç artmıştır. Kamusal anlamda bahsi geçen sektörler başta olmak üzere işyerlerinde korona virüs salgınına özgü riskler belirlenerek ve risklere bağlı önlemler alınarak çalışmaya devam edilmesi gerekmektedir. Çalışma ofisleri de çok fazla çalışanın aynı anda çalışmaya dönüş yapacağı ve dolayısıyla bulaşma riskinin yüksek olacağı kapalı ortamların başında gelmektedir.

COVID-19 pandemisi Aralık 2019'da Çin'in Wuhan şehrinde başlamış ve sadece 3 ay içinde dünyaya yayılmıştır [2,3]. Bu çalışma sırasında, küresel olarak, Mayıs 2020 sonu itibarıyla, Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) bildirilen yaklaşık 377.000 ölüm de dahil 6.200.000'e yakın onaylanmış COVID-19 vakası yaşanmıştır [2]. Bu küresel sayıların yaklaşık 165.000 vakası ve 4.600 ölümü Türkiye'ye aittir [2].

Hem sanal hem de gerçek yaşam alanlarında ayrılmaz bir şekilde bütünleşmiş ülkeler dünyasında, bu hastalığın etkileri, toplam vakaların ve ölümlerin ötesinde, ekonomik ve finansal krizler dikkate alınarak incelenmelidir. Bu bağlamda dünyadaki tüm ülke yöneticileri, ekonomilerini salgının zirve dönemi, normalleşme süreci ve kontrollü yeni normal yaşam şeklinde üç aşamada sürdürmek için çalışmaktadır. Her ülke kendilerine özel acil durum planlarını, dinamik önlemlerini ve yardım paketlerini uygulamaktadır [4,5,6,7,8,9]. 190 ülke ve bölge COVID-19'a yanıt olarak, nakit transferler, kamusal çalışmalar, aynı transferler, hizmet muafiyetleri, sağlık sigortası

desteği, işsizlik ödeneği ve ücretli izin, emekli ve maluliyet yardımları, sosyal güvenlik primleri, aktivasyon önlemleri, çalışma düzeni ayarlaması, azaltılmış çalışma süresi, ücret sübvansiyonları gibi çok çeşitli sosyal koruma tedbirlerini planlamış, uygulamaya başlamış veya uyarlamıştır [10]. Ülkemizde alınan önlemlerin detaylarına ilgili kaynaklardan ulaşılabilir [3,10].

Bu pandemi sürecinde, dünyanın her yerinde en küçük işyerlerinden büyük işletmelere kadar çalışmalar, hükümetlerin zorunlu kararları veya gönüllülük esasına göre geçici olarak durdu. Her ülkenin ekonomik yapısına bağlı olarak, daha hizmet odaklı ekonomileri olan ülkeler daha fazla etkilenecek ve daha fazla işsizlik ve iş sağlığı riski altında olacaktır [8]. Dünya genelinde, her beş kişiden dördünün işi salgından etkilendi ve 3,3 milyarlık toplam küresel işgücünün %81'i işyerlerini tamamen veya kısmen kapatmıştır [6]. Ülkelerin işyeri kapatma politikalarının kapsamı farklılıklar gösterse de dünya çalışanlarının yüzde 94'ü bir tür işyeri kapatma önlemi alan ülkelerde yaşamaktadır. Tüm çalışanların %20,4'ü COVID-19 kapatmalarından en çok etkilenen sektörlerde çalışmaktadır. Her ne kadar giderek daha fazla ülke, çalışanların işyerlerine geri dönmelerine izin vermek için bu tedbirleri gevşetse de dünya çalışanlarının yüzde 20'si istisnasız zorunlu işyeri kapatmaları olan ülkelerde yaşamaktadır. Geriye kalan %74'ün, %69'luk bir kesimi, bazı sektörler veya çalışan pozisyonları için zorunlu işyeri kapatmaları gereken ülkelerde yaşarken, yüzde 5'lik bir kesimi de işyeri kapatmaları önerilen ülkelerde yaşamaktadır. Bunlara bağlı olarak, Salgının 2020'nin ikinci çeyreğinde dünya genelinde çalışma saatlerinin %6,7'sini yok etmesi bekleniyor. Bu da 195 milyon tam zamanlı çalışanın işini kaybetmesi anlamına gelmektedir [6].

Sosyal mesafe kısıtlamalarının uygulanmaya başlamasıyla dünya genelinde hizmet sektörü ve sağlık sektörü dışında kalan tüm sektörlerde evden çalışma oranları yükselmiştir [6]. Örneğin Amerika'da toplam işgücünün evden çalışma oranı %3,4 olurken, AB genelinde ortalama %5,4 olarak belirlenmiştir [11]. Avrupa'da ülkeler özelinde ise Hollanda ve Finlandiya %14,1 oranla ilk sırada, Bulgaristan ise %0,5 ile son sırada yer alırken, bu oran Türkiye'de %2,1 olarak belirlenmiştir [12]. Mayıs 2020 tarihinde açıklanan TÜİK işgücü istatistiklerine göre istihdam edilenlerin sayısı 26 milyon 753 bin kişidir. Çalışma genel müdürlüğünün 2019 yılı çalışma hayatı istatistiklerine göre istihdamın yaklaşık 2.550.000'i kamu görevlisi, yaklaşık 14.160.000'i ise kadrolu çalışandır. Bu sayılara göre çoğunluğu kamu görevlisi olmakla beraber Türkiye'de evden çalışan sayısı yaklaşık 562 bin olarak belirlenmiştir [13,14].

COVID-19 salgınının Türkiye'de çalışma hayatı üzerine etkileri 138'i global ve 61'i yerel olmak üzere 199 firmanın katılımıyla değerlendirildiğinde,

firmaların %77'si ofis veya üretim tesislerini geçici süreyle kapatırken, yüzde 23'ünün henüz bir kapatma planının olmadığı belirlenmiştir [15]. Aynı araştırma, firmaların %45,4'ünün salgın hastalık durumu için daha önceden hazırlanmış iş sürekliliği planını olmadığını, firmaların %54,6'sının ise önceden bir plana sahip olduğu ve planlarını uygulamaya başladıklarını ortaya koymuştur. Çalışanların ülke genelinde evden çalışma konusunda destekleyen firmaların oranı %76,4, üretimleri devam ettiği için, tesislerinde çalışmaya devam eden firmaların oranı ise yüzde 6 olarak tespit edilmiştir.

Salgın döneminde bireylerin ve şirketlerin çalışma düzenini ortaya koymak için 26 Mart-9 Nisan tarihleri arasında Wizsight Araştırma'nın Türkiye'de iş gücüne katılan nüfusu temsilen %67'si erkek ve %33'ü kadın, 15-55 yaş arası toplam 800 görüşmeci ile online olarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda, katılımcıların %57'sinin özel sektör çalışanı, %18'inin kamu çalışanı ve %13'ünün ise şirket/ajans sahibi olduğu ve %40'ının COVID-19 salgını sebebiyle evden çalışma düzenine geçerken, %29'unun evden çalışma düzenine kısmen geçtikleri belirlenmiştir. Hala ofislerinden evden çalışma düzenine geçmeyenlerin %26'sının zorunlu ücretli izin kullandığı, %23'ünün ise ücretsiz izin kullandığı ortaya çıkmıştır. Aynı çalışmada, global şirketlerde çalışan katılımcıların %63'ü tamamen evden çalışma düzenine geçtiklerini belirtirken, yerel şirketlerde çalışanlarda bu oran %36 olarak belirlenmiştir [16].

İlk COVID-19 vakasının açıklanmasının ardından geçen 15 günlük süre içerisinde Türkiye genelinde 17 farklı ilden 334 kişi katıldığı başka bir çalışmada şehirler bazında sonuçlara göre, İstanbul'da bulunan şirketlerin %52'sinde çalışanlarının tamamı evden çalışma uygulamasına geçilirken, %45'inde ise kısmi olarak veya belirlenen çalışan grubu bazında evden çalışma sistemine geçilmiştir. İstanbul dışında kalan illerde ise %36'lık bir oranla çalışanların tamamının evden çalışmaya geçtiği, %23'ünde ise halen şirkette, fabrikada veya sahada çalışmaya devam edildiği belirlenmiştir [17].

Türkiye işgücü piyasası için Covid-19'un etkilerinin TÜİK tarafından Haziran ve Temmuz ayında açıklanacak verilerde görüneceğinin belirtilmesi nedeniyle verilerin sınırlı olması ve yöntemsel sorunlar nedeniyle Covid-19 döneminin işsizlik ve istihdam üzerindeki etkilerini ölçmek önemli zorluklar taşısa da yapılan tahmini hesaplamalara göre, 17 Nisan 2020'den itibaren üç ay süreyle işten çıkarma yaşağı uygulanacak olmasına rağmen, Covid-19 döneminde toplam dar tanımlı işsiz sayısı 12 milyon civarına, geniş tanımlı işsiz sayısı ise 15 milyonu aşacağı öngörülmektedir. Bu rakamlar içerisinde ise yaklaşık 8 Milyon işsizliğin doğrudan COVID-19 etkisiyle gerçekleşeceği beklenmektedir [18]. İstanbul İşçi Sendikaları Şubeler Platformu da sadece İstanbul'da

Nisan sonu itibarıyla 3 bin 544 çalışanın COVID-19'a yakalandığını ve 2 bin 902 çalışanın hastalık şüphesi ile karantinada olduğunu, 34 çalışanın ise yaşamını yitirdiğini açıkladı [19].

Bunlar ışığında IMF, küresel ekonominin 2020'de yüzde -3 oranında keskin bir şekilde daralmasını ve OECD, küresel ekonomik büyümenin 2019'daki %2,9'a kıyasla 2020 yılında %2,4'e düşeceğini öngördüğünü açıklamıştır. ABD'nin % -5,9 GSYİH büyümesi ile ekonomik durgunluğa girmesi tahmin edilmektedir [20]. Çin, bu senaryoda hala GSYİH'da +1,2 ile pozitif bir büyüme gösterecektir. Öte yandan, çoğu Avrupa ülkesinde ciddi durgunluklar yaşanacağı da açıkça görülmektedir [4]. Kriz sonrası Avrupa ülkelerinin GSYİH'larında %-2 ila %-10 arasında azalmalar beklenmektedir [4]. Bu rakam Türkiye, Rusya, Almanya, İspanya ve İtalya için sırasıyla -5,0; -5,5; -7,0; -8,0 ve -9,1 olarak tahmin edilmektedir [4].

Modern çalışma hayatı açısından, hastalığın bulaşma yolları ve hızına ek olarak belirti göstermeksizin (asemptomatik) hastalığı taşıyan kişi sayısı da düşünüldüğünde doğrudan karşılaştırmalı kullanabileceğimiz yol haritası yoktur. Çünkü, yakın tarihli salgınlar hem tüm dünya geneline yayılmamış hem de çalışma hayatını etkilememiştir [3]. Bu sebeple, ekonomik ve finansal açıdan yaraları sarmanın yanı sıra yeni normal iş yaşamı sürecinde, işyerlerinde hastalıktan korunma ve ikinci dalga salgını önlemek amacıyla yeni düzenlemeler yapılması gerekmektedir. İşletmeler ve firmalar, çalışanlarının ve faaliyetlerinden etkilenenlerin sağlığını ve güvenliğini korumakla yükümlüdürler. Uluslararası Çalışma Örgütü, normalleşme sürecine işyerlerine dönen çalışanlar için yeterli güvenlik önlemleri olmadan virüsün ikinci bir dalgası olabileceği konusunda uyarılmaktadır. Ülkelerde kısıtlamaların hafifletmeleri yönünde baskılar artarken, yine Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) hükümetleri, işverenler ve çalışan örgütleri ile aktif katılım ve diyalogla birlikte, işyerlerinde COVID-19'u önlemek ve kontrol etmek için iş sağlığı ve güvenliği normlarına uygun olarak harekete geçmeleri çağrısında bulunmaktadır [21]. Bunun ilk adımı da gerçekçi ve güvenilir bir risk değerlendirmesi yapmak olmalıdır. COVID-19'un yansımaları olarak, ekonomik ve finansal etkiler ile çalışma ofislerinde risk değerlendirme, iş sağlığı ve güvenliği gibi konularla ilgili bireysel ve kurumsal akademik makale ve raporlar yakın tarihli olarak yayınlanmıştır [4,22,23,24-54].

Bu çalışmada işyerleri bünyesinde gelişebilecek COVID-19 hastalığına karşı çalışanların hastalanıp zarar görmesini, işlerin kısmen veya tamamen durmasını, çevrenin olumsuz yönde etkilenmesini önlemek, sonrasında normalleşme sürecine en verimli şekilde geçmek amacıyla ve yönetimin hızlı ve doğru karar alabilmesini sağlamaya yönelik olası riskler belirlenmeye çalışılmıştır.

COVID-19 hastalığına yakalanmamak ve işyeri faaliyetlerinin devam etmesi amacıyla mevcut salgının olası sebepleri balık kılıçığı yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Balık kılıçığı ile oluşturulan sebep sonuç diyagramı, hastalık bulaşması riskinin kontrol altına alınmasına ilişkin yöntem ve esasların sistematik bir şekilde tanımlanması ve soruna ilişkin bilinen/bilinmeyen tüm faktörleri ortaya koymak için kullanılmıştır. Bu çalışma hastalığın işyeri ortamında çalışanlara bulaşmaması, iş sağlığı ve güvenliği açısından ortaya çıkabilecek risklerin analiz edilerek kabul edilebilir seviyelerde tutulabilmesi ve alınması gereken önlemlerin hastalığın işyerinde bulaşma riskinin olası sebeplerini ortaya çıkartarak belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

II. YÖNTEM

Bu çalışmada risk değerlendirmesi olarak balık kılıçığı yöntemi uygulanmıştır. Bu nedenle çalışma nitel ve betimleyici türdedir. Sebep-sonuç diyagramı, belirli bir problemin veya durumun olası nedenlerini belirlemek için kullanılmaktadır [55-61]. İstatistiksel yöntemler kullanılarak sonuçlardan hareketle olayın sebeplerine ulaşılabilmekte ve çıkan sonuçlarla bunları doğuran sebepler arasındaki çapraz ilişki ortaya çıkarılabilmekte ve görsel olarak sunulabilmektedir [62]. Çizilen grafiğin görüntüsü balık kılıçığını andırıldığından, bu grafik balık kılıçığı grafiği olarak da adlandırılmaktadır. Ishikawa diyagramı, belirli bir soruna neden olan tüm faktörleri ortaya çıkarmaya ve sonuca en fazla etki eden faktörü bulup iyileştirmeye yön veren bir tekniktir. Teknik, Japon toplam kalite uzmanı Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilmiş ve karar verme bilimine sunulmuştur [63]. Ishikawa diyagramı bireysel sorunlardan kurumsal boyutlara kadar herhangi bir konuda uygulanabilen, uygulaması basit, oldukça yararlı ve kapsamlı bir sorun çözme tekniğidir. Beyin fırtınası tekniği ile birleştirildiğinde daha etkin sonuçlar vermektedir.

Bu grafik çeşidi sayesinde [64];

- Problem çözme sürecinin daha düzenli hale getirilmesi,
- Problem hakkında bilinenlerden bilinmeyene doğru sistematik bir yaklaşım olması,
- Problemlerle doğrudan deneyimi olan kişilerin uzmanlığından yararlanılması, mümkün olabilmektedir.

Balık kılıçığı diyagramlarını oluştururken aşağıda detaylı olarak açıklanan aşamalar gerçekleştirilmiştir. Diyagram dağılım analizinde, önce geliştirilmesi amaçlanan problem belirlenmiştir. Problem belirlendikten sonra sebep-sonuç diyagramının ana çizgisi oluşturulmuştur. Diyagram oluşturulurken, çevresel ve işyerine özgü faktörler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Problemin kaynaklanabileceği muhtemel sebepler belirlenerek ana başlıklar altında toplanmıştır. Bu sebeplerin aktarılabilmesi için problemle ilgili olan herkesin görüşü alınmıştır.

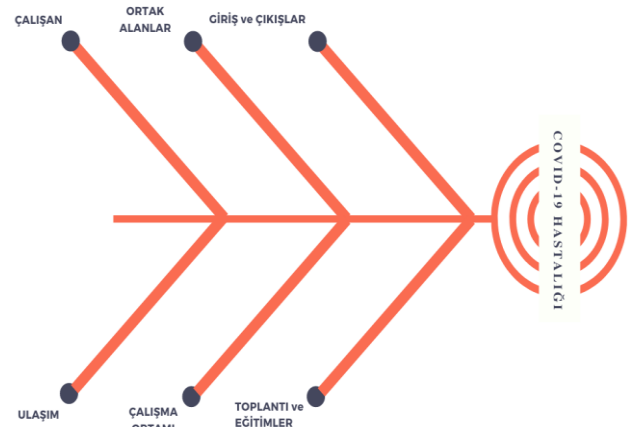
Sebep-sonuç diyagramlarının oluşturulmasının son aşamasında, ortaya koyulan ana sebeplere uygun olarak belirlenmiş olan alt sebepler, A sınıfı iş güvenliği uzmanları ve akademisyenlerden oluşan bir çalışma grubu tarafından beyin fırtınası yöntemiyle değerlendirildi. Araştırmacılar, kendi önem sıralarına uygun puanlama yaptılar ve puanlama sonucunda, her alt sebebe kişilerin verdikleri toplam puanlar belirlendi. En çok puanı alan alt sebep, kök neden analizine göre problemin kaynak noktası olarak belirlendi. En çok puanı alan bu alt sebepten sonra iyileştirme ve sebebi ortadan kaldırmaya yönelik çalışmalar yapıldı.

III. UYGULAMA

3.1. Balık Kılıçığı Yöntemiyle COVID-19 Bulaşma Riski Analizi

Bireysel ve etkileşimde olduğu toplumun sağlığının normalleşme süreci ve sonrasında önemi düşünüldükçe, COVID-19 hastalığının bulaşma riskinin kontrol altına alınması amacıyla, çalışma ofislerindeki bulaşma riskleri, neden-sonuç analizi olarak da adlandırılan, balık kılıçığı yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece, bulaşma riskinin belirsizliklerine çözüm getirilmesi, hastalığın bulaşma riskinin bilinen veya bilinmeyen tüm faktörlerinin ortaya konulması, ileride hastalığa ilişkin oluşabilecek potansiyel tehlikelerin ve bunlara ilişkin risklerin belirlenmesi, beklenen veya oluşabilecek risklerin kontrol altına alınmasına ilişkin yöntem ve esasların sistematik bir şekilde tanımlanması ve COVID-19 hastalığı bulaşma riskinin asgari seviyelere indirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan risk değerlendirmesi ile işyerlerinde korona virüs bulaşma riskinin derecesi kabul edilebilir seviyeye düşürülmüştür.

COVID-19 hastalığının işyerlerinde bulaşma riskinde, balık kılıçığı yöntemi ile tehlike ve risklerin değerlendirilmesi Şekil 1'de belirtilen şemaya göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Tehlike tanımlama ve risk değerlendirme programı akış şeması

Bu çalışma kapsamında bir ana ve altı alt problem tespit edilmiştir. Ana problem önlem alınmaması veya alınan önlemlere uyulmaması sonucunda COVID-19 hastalığının bulaşmasıdır. Buna sebep olacağı düşünülen alt problemler ise şöyle sıralanabilir.

- Çalışanlara COVID-19 hastalığına ilişkin yeterli bilgilendirmenin yapılmaması sonucu çalışanların kişisel önlem almamaları,
- Ortak alanlarda önlem alınmaması nedeniyle yetersiz hijyen koşulları,
- İşyerine giriş ve çıkışlarda ateş ölçümü yapılmaması ve COVID-19'a yönelik semptomların sorgulanmaması,
- Servis araçlarının periyodik olarak dezenfekte edilmemesi ve araçlarda koruyucu önlemlerin alınmaması,
- Çalışan sayısının fazla olması ve sosyal mesafeye uygun hareket edilmemesi,
- Toplantı ve eğitimlerin iç iletişim kanalları ile yapılmaması ve bunun sonucu olarak yakın temas hareketlerinin oluşması,
- İşyeri yönetiminin alınan önlemlere uyma konusunda çalışanlara örnek olmaması gibi sebepler belirlenmiştir.

COVID-19 hastalığı bulaşma sebepleri belirlendikten sonra yapılacak çalışmalarla mevcut durum ile ilgili risk değerlendirmesi yapılarak, yasal yükümlülükler ve işyerinin politikasına uygun, kayıp ve yaralanma oluşturmayacak şekilde kontrol önlemleri ile kabul edilebilir risk seviyesine düşürülür. COVID-19 hastalığı bulaşma riskinin sebep-sonuç diyagramı Şekil

2'de verilmiştir. Balık kılıçlığı yöntemi uygulanarak hastalığın bulaşmasına sebep olabilecek ana nedenler ve hataya sebep olabilecek alt nedenler önem sırasına göre ayrılmıştır. Buna göre; hasta veya temaslı çalışanın işe gelmesi, kişisel hijyene dikkat edilmemesi, çalışanların atıklara teması, COVID-19 hakkında çalışanların bilgi eksikliği, kişisel koruyucu donanım kullanılmaması, ortak alanlar için yetersiz hijyen malzemeleri, banyo ve wc gibi ortak alanların yetersiz temizliği, yemekhanede kullanılan sebze ve meyvelerin uygun yıkanmaması, toplu yemek yenilmesi, asansör kullanımı, ara dinlenme ve molalarda çalışanlar arasında etkileşim yaşanması, işyerine giriş ve çıkışlarda ateş ölçümü ve hastalık semptom kontrolünün yapılmaması, temaslı sistemlerin kullanılması, giriş ve çıkışlarda sosyal mesafenin korunmaması, zorunlu olmayan ziyaretçilerin alınması, servis ve toplu taşıma araçlarının yetersiz temizliği, çalışanların araç içerisindeki yüzey teması, araçta sosyal mesafeye uygunsuz oturma, zorunlu olmayan iş seyahatlerinin devam etmesi, salgın bölgesinden işe gelinmesi, araçta maske ve eldiven gibi koruyucuların takılmaması, çalışma ortamında çalışan sayısının fazla olması, iş ekipmanlarının ortak kullanımı, yetersiz çalışma ortamı temizliği, doğal havalandırmanın yetersiz yapılması, iş elbiseleri ile harici elbiselerin aynı bölümde bulundurulması, tıbbi atıkların uzaklaştırılmaması, çalışanların yakın teması, toplantı ve eğitimlerin uzaktan yapılmaması nedeniyle tokalaşmak gibi yakın temas hareketleri, kalabalık olarak yapılması veya ertelenmemesi sebepleri sayılabilmektedir.



Şekil 2. COVID-19 bulaşmasının sebep-sonuç diyagramı

3.2. ILO İş Sürekliliği Planı Hazırlama Uygulaması

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 13. Maddesindeki iş kazası tanımı ve Yargıtay 21. Hukuk Dairesi'nin E. 2018/5018 K. 2019/2931 sayılı kararında, iş nedeniyle bulaştığı anlaşılan H1N1 virüsüne bağlı olarak çalışanın ölümünü iş kazası olarak hükme bağladığı bilindiğinden, çalışanın COVID-19 hastalığına yakalanmasının iş kazası niteliği taşıdığı belirlenmiştir.

Buna bağlı olarak, İşçinin işyerinde görevini yaparken işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamak amacıyla işveren tarafından alınması gereken önlemler 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4. maddesinde yer almaktadır. İşverenin, COVID-19 ve benzeri bir salgının ortaya çıkmasından sonra bu tehlikeyi analiz ederek, risk kontrol tedbirlerini kararlaştırması, bununla alakalı olarak dokümantasyon çalışması yapması ve genel anlamda yapılacak tüm çalışmalarını güncel duruma göre yenilemesi gerekmektedir.

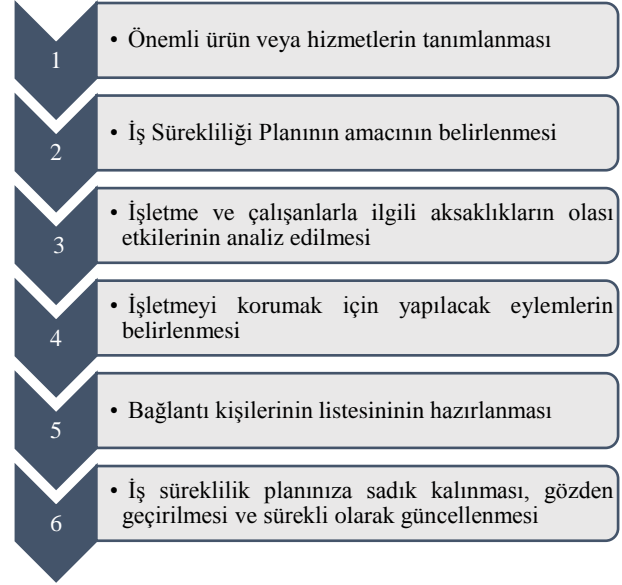
Bu uygulamada, Uluslararası çalışma örgütü (ILO)'nun yayınladığı [52], normal iş yaşamına dönüş sürecinde KOBİ'ler için "Altı Adımda Covid-19 İş Sürekliliği Planı" dokümanı rehberliğinde, yukarıda elde edilen risk değerlendirmesi sonuçları da göz önünde bulundurularak, deniz ürünleri yetiştirme, işleme ve depolama alanında faaliyet gösteren bir firma için İş Sürekliliği Planı hazırlanmıştır.

Uygulama için seçilen firmanın Trabzon fabrikası 10 yılı aşkın bir süredir su ürünleri sektöründe faaliyet göstermektedir ve deniz ürünleri ticareti hakkında geniş bilgi birikimine sahiptir. Uzakdoğu ve Avrupa'ya ihracat yapmaktadır. Bu uygulamada, deniz ürünleri işleme, depolama ve ihracat birimlerinde toplam 250 çalışanı olan firmanın, COVID-19 hastalığının Türkiye'de yayılması neticesinde işlerini ve çalışanlarını korumak amacıyla, ILO'nun önerdiği "İş Sürekliliği Planını" hazırlaması ele alınmıştır. Bu plan, işletmelerin risk profilini ve COVID-19'a karşı güvenlik açığı düzeyini, firmanın "çalışanları ve aileleri, iş/üretim süreçleri, gelir sağlama faaliyetleri ve ortaklık faaliyetleri" üzerindeki etkisi açısından oluşturmayı amaçlamaktadır.

Plan genellikle sınırlı kaynaklara sahip küçük ve orta büyüklükteki işletmeleri kapsamakta ve iki bölümden oluşmaktadır.

1. İlk bölüm hızlı bir şekilde yapabilecek risk değerlendirme testinden oluşmaktadır. İşletmeler için risk/güvenlik açığı düzeyini belirler. Yukarıda belirtilen 4 ana başlıkta toplam 60 soruluk bir analiz sonucunda risk puanı belirlenir.

2. Planın ikinci bölümü altı adımlı bir süreçtir. Bu sürecin adımları Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Altı adımda İş Süreklilik Planı hazırlama

Çalışma kapsamında, önceki uygulamada balık kılıçığı metodu ile elde edilen genel sonuçlar ışığında, firmaya COVID-19 risk değerlendirme testi uygulanmış ve yüksek risk profili elde edilmiştir. Firmanın hesaplanan risk puanı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Firma risk puanlama sonuç tablosu

Risk Puanı (0-20: Düşük risk, 20-40: Orta risk, 40-60: Yüksek risk)				
Çalışanlar ve Aileleri	İş / Üretim Süreçleri	Gelir Sağlama Faaliyetleri	Ortaklık Faaliyetleri	Toplam Puan
15 / 19	5 / 8	10 / 16	15 / 17	45 / 60

Adım 1 Önemli ürün ve hizmetlerin belirlenmesi

Firma için öncelikli ürün ve hizmet deniz salyangozunun avlanması, işlenmesi, paketlenmesi ve depolanmasıdır. Bunun yanında derin hamsi, kırmızı kefal ve uskumru da önde gelen av ve işleme ürünleridir. Uzakdoğu ülkeleri ve bazı Avrupa ülkelerinden oluşan yurt dışı müşteri ağı bulunmaktadır. COVID-9 sürecinde bu ihracat ağının kopması sonucunda özellikle ana kalem ürünlerin müşterilere teslim edilmemesinin maliyeti firmanın işi üzerinde çok olumsuz sonuçlar doğuracaktır.

Adım 2 İş sürekliliği planının amacının belirlenmesi

Amaç, firmanın üretim, işleme ve depolama faaliyetleri için önemli korumalar sağlayacak firma içi basit süreçler geliştirmektir. Bu süreçlerin kapsamını oluşturan alt başlıklar şöyle sıralanabilir.

- Kendilerinin ve çalışanlarının fiziksel ve ruhsal güvenliğini en üst düzeye çıkarmak,
- Aksaklıklar sonrasında mümkün olan en kısa sürede çalışmalara devam etmek,
- Öncelikli ürünlerinin COVID-19 ile ilişkili aksaklıklara karşı dayanıklı olduğundan emin olmak,

- Tedarik zincirini korumak,
- Firmanın müşterilerle olan sözleşme taahhütlerini yerine getirmesini sağlamak.

Adım 3 Firma ve çalışanlarla ilgili aksaklıkların olası etkilerinin analiz edilmesi

En önemli ve belirleyici adımdır. Kilit operasyonlarındaki aksaklıkların etkisini gerçekçi senaryolarla ortaya koymayı sağlar. Firma, ürünlerini üretmek ve teslim etmek için gerekli olan işlemlerde risklerin hangi aşamalarda ne kadar yoğunlaştığını ve firmanın geleceğini tehlikeye atmadan telafi edilebilir çalışmama (iş durdurma) süresinin ne kadar olduğunu belirleyebilir.

Bu adım sonucunda detaylı bir iş ortaklığı/paydaş haritası ortaya çıkmıştır. Firmanın, faaliyet gösterdiği deniz ürünleri açısından kritik öneme sahip 5 ana paydaşı belirlendi. Bunlar, çalışanlar, müşteriler, tedarikçiler, lojistik destekçiler ve kural düzenleyici otoritelerdir.

Bu çalışma firmaya, işlerinin sağlıklı kalan dış aktörlere ve tedarikçileri, lojistik destekçiler ve müşterileri için ne kadar bağımlı olduğunu gösterdi. Eğer işler geri dönülemez şekilde bozulur ve iş durdurma yaşanır, 8 ila 12 hafta içinde iflas edebileceği öngörüldü. Potansiyel temel iş durdurma sebepleri olarak;

- Firmanın kendi çalışanları başta olmak üzere tedarikçileri ve lojistik destekçilerinin çalışanlarının hastalığa yakalanması,
- Hükümetin hareket özgürlüğüne yönelik kısıtlamaları neticesinde firmanın ve tedarikçilerinin çalışanlarının işe gidememeleri,
- Hükümetin limanlara ve sınır kapılarına yönelik erişim konusundaki kısıtlamalarının, müşterilerinin ürünleri pazara sunmasını engellemesi,
- Devletin sağladığı altyapı hizmetlerinden (başta su ve elektrik) yararlanılamaması,
- Ürünlerine olan talebin aniden azalması

Adım 4 İşletmeyi korumak için yapılacak eylemlerin belirlenmesi

Firma, çalışanları ve aileleri, iş/üretim süreçleri, gelir sağlama faaliyetleri ve ortaklık faaliyetleri açısından ayrı ayrı, işletmeyi korumak amacıyla yapılacak eylemler belirlemiştir. Bunlara sırasıyla birer örnek verecek olursak;

- Güvenlik ve sağlık önlemlerinin yanı sıra standart çalışma yöntemlerini tekrar gözden geçirmek ve sosyal mesafe kriterlerini bu yöntemlere uyarlamak. Bunun için de gerekli olabilecek yeni vardiya düzenlemesi ve benzeri hususları çalışanlarla görüşmek,
- Tüm çalışanlar/ tedarikçiler/ müşteriler/ ziyaretçiler için girişte bir ateş ölçüm düzeneği kurmak; durumlarını ve meydana gelen değişiklikleri değerlendirmek için tedarikçiler ve

müşterilerle günlük istişareler yapmak ve herkesin evde güvende kalmanın yollarını özümlediğinden emin olmak,

- Yurt dışı bağlantıları tıkağında yurt içindeki tedarikçi ve müşteri yelpazesini genişletme çalışmaları kapsamında balıkçılık kooperatifleri vb. yapılarla görüşmeler yapmak,
- Firma aynı şehirde benzer alanda faaliyet gösteren diğer rakipleriyle toplantı yaparak, elde ettikleri güvenlik tedbirleri uygulama tecrübelerini birbirleri ile paylaşmak için anlaşma sağlamak. Ayrıca çalışma süresi değişiklikleri, olası işten çıkarmalar gibi hukuki sonuçlar doğuracak işyeri sorunlarının nasıl ele alınacağı hakkında bilgi edinme maliyetlerini paylaşma konusunda da görüşmek.

Adım 5 Bağlantı kişilerinin listesinin hazırlanması

Firma, acil durumlarda yardım sağlayabilecek yetkililer ve üçüncü şahısların iletişim numaralarını listeleyerek, her çalışma departmanında görsel olarak duyurdu. Bunun yanında, çalışanlarının pozisyonlarıyla birlikte kendilerinin ve acil durumlarda ulaşılabilecek yakınlarının iletişim bilgilerinin listesini yaptı. Ayrıca birlikte iş yaptığı müşterilerinin, tedarikçilerinin ve devlet kurumları yetkililerinin iletişim bilgilerinin de listesini hazırladı.

İletişim kişi ve ayrıntıları (cep telefonu, e-posta adresi ve sokak adresi) dahil olmak üzere birlikte çalıştığı, tüm iletişim kişilerinin bir listesini yaptı. Bunlara ek olarak, COVID-19 krizi sırasında çalışanları ile bağlantı kurmak için iletişim yöntemlerini belirledi ve seçtiği bir personel liderliğinde acil iletişim ağı kurdu.

Adım 6 İş süreklilik planına sadık kalınması, gözden geçirilmesi ve sürekli olarak güncellenmesi

Firma iş süreklilik planının amacını güncelledi ve her çalışma departmanında periyodik toplantılar yaparak çalışanlar arasında planın etkinliğini artırma çalışmaları yaptı. Bununla beraber, risk değerlendirmesini, iş sürekliliği stratejilerini güncellemek ve iş sürekliliği planında yer alan tüm süreçlerin sürekli olarak iyileştirilmesini sağlamak için araştırma ve geliştirme çalışmaları başlattı.

IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İşyerlerinin faaliyetleri sonucunda elde edilen gelir, ülke ekonomilerine katma değer olarak dönmektedir. Bu faydanın sürdürülebilirliğini sağlamak içinde çalışma hayatının en önemli unsuru olan insan faktörünün önemi büyüktür. Bu kapsamda işyerlerinde salgın hastalıklara karşı tehlike ve riskler belirlenerek önlem alınması, iş sektörlerinin olası salgın sürecinden en az zararla çıkmasını sağlayacaktır.

Balık kılıcı yöntemi COVID-19 hastalığının işyerlerinde bulaşma riskinin sebep sonuç ilişkilerinin daha net bir şekilde görülmesi ve tehlikelerin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. İşyerlerinde hastalığın bulaşmasına sebep olabilecek tüm faaliyetler

bir arada verilerek aralarındaki ilişkileri görme fırsatı sunulmuştur. Hastalığın bulaşma riskinin ana sebeplerinin başında yönetsel göstergelerin olduğu görülmektedir. Olası tehlike ve risklere karşı işyerlerinde özel ekipler kurularak önlemler alınmalıdır.

Uygulaması yapılan ILO iş sürekliliği planı sayesinde firmaların bu tür kriz süreçlerinde hem kendilerine hem de iş ortaklarına ve paydaşlarına güven ve güvenirliliği aşıladığı anlaşılmıştır. Ticarete her faaliyetin temelini güvenin oluşturduğu bilindiğinden, bu şekilde disiplinli bir firma içi iş sağlığı ve güvenliği düzenlemesinin önemi açıkça vurgulanabilir.

Yapılan incelemeler sonucunda çalışanların eğitimi, denetimi ve talimatların arttırılması, önce iş güvenliği bilinci ile yetkin ve deneyimli uzman personel çalıştırılması ile bu tür hastalıkların önüne geçilebilmesinin mümkün olabileceği kanısına varılmıştır.

COVID-19 ve olası salgın hastalıklara karşı ilgili mevcut araştırmalar ile bu çalışmanın ışığında elde edilen bilgilere göre;

- Olası salgın hastalıklara karşı işveren veya vekili önlem almalı ve alınan önlemlere de işyeri personelinin uyması sağlanmalıdır.
- İşyerinde salgın hastalıklara karşı risk değerlendirme analizi ve acil durum planları güncellenmeli veya olası salgına özgü olarak yeni risk değerlendirme analizleri ve acil durum planları hazırlanmalıdır. İşyerleri için olası salgın hastalıklara karşı tehlike ve riskler belirlendikten sonra personel bu tehlike ve riskler göz önünde bulundurularak görevlendirilmelidir.
- Birden çok işverenin olduğu ve alt işveren ilişkisinin bulunduğu işyerlerinde alınacak kararlar ve önlemler koordinasyon içerisinde yapılmalıdır.
- Çalışanların mesleki eğitimlerinin yanı sıra, iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin yasal mevzuata uygun, ihtiyacı karşılayacak nitelikte olması ve verilen eğitimlerde olası salgın hastalık süreçlerine özgü korunma yöntemleri deneyimli personel tarafından verilmelidir.
- İşyerlerinin bir kısmında yapılan işe özgü olarak olası salgın hastalığa yakalanma riski yüksek olacağından personellerin iş motivasyonları düşmekte ve kişisel hatalara neden olabilmektedir. Buna bağlı psikososyal risk etmenleri değerlendirilerek önlemler alınmalıdır.
- İşyerlerine özgü olası salgın hastalıklara karşı sistematik ve bilimsel çalışmalar sürdürülmelidir. İş sağlığı ve güvenliği yönetim süreçlerinin sadece belgeler üzerinde değil uygulamada da hayata geçirilmesi için destekleyici faaliyetlerde bulunulmalıdır.
- İş sağlığı hizmetlerinin istenilen düzeye ulaşması için işyeri hekiminin aktif olarak iş sağlığı ve

güvenliği çalışmalarına katılımının sağlanması gerekmektedir. İşyeri hekimi iyi bir kontrol ve denetim mekanizması kurarak olası salgın hastalık ve mesleki risklerin önlenmesini sağlamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Megginson, L.C., (1963). *Civilisation Past and Present*.
- [2] DSÖ, WHO-Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard, (June 2020).
- [3] *Covid-19 Pandemi Değerlendirme Raporu* (2020). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 34, Ankara, Türkiye.
- [4] IMF, World Economic Outlook: The Great Lockdown, <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2020/04/14/weo-april-2020> (April 2020).
- [5] OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), Government support and the COVID-19 pandemic, <http://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/government-support-and-the-covid-19-pandemic-cb8ca170/>, (April 2020).
- [6] *COVID-19 and the world of work*, (2020). ILO monitor: updated estimates and analysis, 4. edition, Cenevre, İsviçre.
- [7] Wijffelaars, M. and Harn, E.J. The Eurozone economy comes crashing down due to COVID-19, Rabobank, <https://economics.rabobank.com/publications/2020/may/eurozone%2Deconomy%2Dcrashing%2Ddown%2Ddue%2Dto%2Dcovid%2D19/>. (May 2020).
- [8] The coronavirus disease (COVID-19) pandemic 2019-20, *Statista Infographics*, did-71007-1, (Mayıs 2020).
- [9] Elgin, C., Basbug, G., & Yalaman, A., (2020). Economic policy responses to a pandemic: Developing the Covid-19 economic stimulus index. *Centre for Economic Policy Research*, 3, 40-54.
- [10] Gentilini, U., Almenfi, M., Dale, P., Blomquist, J., Natarajan, H., Galicia, G., Palacios, R., & Desai, V., (2020). Social protection and jobs responses to COVID-19: a real-time review of country measures. <https://socialprotection.org/discover/publications/social-protection-and-jobs-responses-covid-19-real-time-review-country>.
- [11] Global Workplace Analytics, Latest work-at-home/telecommuting/mobile work/remote work statistics <https://globalworkplaceanalytics.com/telecommuting-statistics>, (May 2020).
- [12] Eurostat, Employed persons working from home as a percentage of the total employment, by sex, age and professional status, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20180620-1>, (April 2020).
- [13] TÜİK *İşgücü İstatistikleri*, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1007, (Mayıs 2020).
- [14] *Çalışma Hayatı İstatistikleri* (2018). Çalışma

Genel Müdürlüğü, Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

[15] Koronavirüs Salgınının İş Hayatına Etkisi Anketi Sonuçları, Mercer Türkiye,

<https://www.mercer.com.tr/basin-odasi-haberler/peryon-nisan-2020-koronavirus-turkiye-arastirmasi-basin-bulteni.html>. (Mayıs 2020).

[16] Corona döneminde evden çalışmaya ilişkin araştırma raporu, Wizsight ve Poltio.com, <https://egirisim.com/2020/04/21/corona-doneminde-evden-calismaya-iliskin-wizsight-ve-poltio-bir-arastirma-raporu-hazirladi/>. (26 Mart-9 Nisan 2020).

[17] COVID-19 salgınına yönelik uzaktan çalışma sistemiyle ilgili alınan/alınmayan aksiyonların Türk iş dünyası ve çalışanlar üzerindeki etkilerini analizi, Deloitte Türkiye, <https://www.marketingturkiye.com.tr/haberler/deloitte-arastirdi-evden-calisma-duzeni-is-dunyasini-nasil-etkiliyor/>. (Nisan 2020).

[18] İşsizlik ve istihdamın görünümü raporu (2020). DİSK-AR, <http://disk.org.tr/wp-content/uploads/2020/05/DISK-AR-May%C4%B1s-2020-Istihdam-Issizlik-Raporu.pdf>. İstanbul, Türkiye.

[19] İstanbul İşçi Sendikaları Şubeler Platformu, <http://m.bianet.org/bianet/saglik/223396-istanbul-isci-sendikolari-subeler-platformu-istanbul-da-3-bin-544-isci-koronaviruse-yakalandi>. (Nisan, 2020).

[20] Fernandes, N., (2020). Economic effects of coronavirus outbreak (COVID-19) on the world economy. SSRN.

[21] *In the face of a pandemic: Ensuring safety and health at work (2020)*. International Labour Organization (ILO), Geneva, İsviçre.

[22] Brinca, P., Duarte, J.B., & Castro, M.F., (2020). Measuring Sectoral Supply and Demand Shocks during COVID-19. *Federal Reserve Bank of St. Louis Economic Research*, Working Paper 2020-011B.

[23] Federation of Small Businesses (2020) Coronavirus (COVID-19): Advice and guidance for small businesses and the self-employed) 27 March 2020. <https://www.fsb.org.uk/campaign/covid19.html> (April 2020).

[24] Akkoyun, M.B., & Kartın, E., Korona (Covid-19) virüsü iş sağlığı ve güvenliği bakımından etkisi ve iş kazası kapsamındaki değerlendirilmesi, <https://www.kilinclaw.com.tr/korona-covid-19-virusu-is-sagligi-ve-guvenligi-bakimindan-etkisi-ve-is-kazasi-kapsamindaki-degerlendirilmesi>, (Nisan 2020).

[25] Boldog, P., Tekeli, T., Vizi, Z., Denes, A., Bartha, F., & Rost, G., (2020), Risk assessment of novel coronavirus COVID-19 outbreaks outside China. *Journal of Clinical Medicine*, 1-11.

[26] Watterson, A., (2020). COVID 19 in the UK and occupational health and safety - predictable but not inevitable failures: what can we do now? University of Stirling Technical Report:29.

[27] Jones, R., (2020). Covid-19: How do OSH professionals impact public-policy? International Labour Organization, https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/events-training/events-meetings/world-day-safety-health-at-work/WCMS_742062/lang-en/index.htm.

[28] Chang, H., (2015). Evaluation Framework for Telemedicine Using the Logical Framework Approach and a Fishbone Diagram. *Healthcare Informatics Research*, 21(4), 230-238.

[29] Spurk, D., & Straub, C., (2020). Flexible employment relationships and careers in times of the COVID-19 pandemic. *Journal of Vocational Behavior*, 119, 1-4.

[30] Getting your workplace ready for COVID-19, (2020). World Health Organization (WHO), Cenevre, İsviçre,

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331584/WHO-2019-nCov-workplace-2020.2-ng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

[31] Matias, T., Dominski, F.H., & Marks, D.F., (2020). Human needs in COVID-19 isolation, *Journal of Health Psychology*, 1-12.

[32] Sezgin, C., (2020). COVID-19: Çalışanlara ve Çalışma Hayatına Olası Etkileri, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/human-capital/covid-19-calisanlara-ve-calisma-hayatina-olasi-etkileri.pdf>.

[33] Laszcz-Davis, C., (2020). The new world battleground with Covid-19: Challenges, partnerships, impact and business, International Labour Organization,

https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_742063.pdf.

[34] *Yeni koronavirüs salgını ile mücadele kapsamında iş sağlığı ve güvenliği yönünden sıkça sorulan sorular ve cevapları (2020)*. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

[35] Watterson, A., (1999). Why we still have old epidemics and endemics in occupational health: policy and practice failures and some solutions in Daykin N and Doyal L (eds). *Health and Work: Critical Perspectives*. London, Macmillan,107-126.

[36] Wang, Q., & Yu, C., (2020). Letter to editor: Role of masks/respirator protection against 2019-novel coronavirus (COVID-19). *Infection control and hospital epidemiology*. 1-7.

[37] Ann Caluori, A., (2020). Society of Occupational Medicine (2020b) Work related fatalities due to COVID-19. <https://www.som.org.uk/work-related-fatalities-due-covid-19-exposure-not-given>.

[38] Semple, S. and Cherrie, J. (2020) Covid-19: Protecting Worker Health. *Annals of Work Exposures and Health*, wxaa033, <https://doi.org/10.1093/annweh/wxaa033>.

[39] Royal College of Physicians London, (2020). CPR; personal protective equipment and COVID-19. <https://www.rcplondon.ac.uk/news/cpr-personal-protective-equipment-and-covid-19>.

[40] LaDou, J., London, L., & Watterson, A. (2018).

- Occupational health: a world of false promises. *Environ Health* 17, 81 <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0422-x> (March 2020) [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30644-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30644-9/fulltext).
- [41] Institution of Safety and Health, (2020). Coronavirus. <https://www.iosh.com/resources-and-research/our-resources/communicable-diseases/coronavirus/advice/>.
- [42] Health Protection Scotland, (2020). COVID-19 guidance for non-healthcare settings. <https://www.hps.scot.nhs.uk/web-resources-container/covid-19-guidance-for-non-healthcare-settings/>.
- [43] Health and Safety Executive, (2020b). Coronavirus (COVID-19) -latest information and advice. www.hse.gov.uk/news/coronavirus.htm?utm_source=govdelivery&utm_medium=email&utm_campaign=coronavirus&utm_term=intro&utm_content=digest-2-apr-20. (April 2020).
- [44] Health and Safety Executive (2014 revised 2019) Risk assessment: A brief guide to controlling risks in the workplace. <https://www.hse.gov.uk/pubns/indg163.htm>.
- [45] EU-OSHA, (2020). Coronavirus disease (COVID-19) outbreak and workplace safety and health. <https://osha.europa.eu/en/highlights/coronavirus-disease-covid-19-outbreak-and-workplace-safety-and-health>.
- [46] Diamond, M., & Woskie, L. (2020). Healthcare workforce safety and Ebola in the context of covid-19. <https://blogs.bmj.com/bmj/2020/03/25/healthcare-workforce-safety-and-ebola-in-the-context-of-covid-19/>.
- [47] Berkowitz, D., (2020). Worker Health is Public Health. On COVID. March 30 2020. On Labor, Workers, Unions, Politics. <https://onlabor.org/author/deborahberkowitz/>.
- [48] Bayar, A.A., Günçavdı, Ö., & Levent, H. (2020). Covid-19 Salgınının Kadınların Çalışma ve Hane Yaşamı Üzerine Etkileri, İstanbul Politik Araştırmalar Enstitüsü.
- [49] *A safe and healthy return to work during the COVID-19 pandemic*, (May 2020), International Labour Organization, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/briefingnote/wcms_745549.pdf. Genève, Switzerland.
- [50] *Safe Return to Work: Ten Action Points*, (May 2020), International Labour Organization, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/instructionalmaterial/wcms_745541.pdf. Genève, Switzerland.
- [51] *Safe return to work: Guide for employers on COVID-19 prevention*, (May 2020), International Labour Organization, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---act_emp/documents/publication/wcms_744033.pdf. Genève, Switzerland.
- [52] *The six-step COVID-19 business continuity plan for SMEs*, (April 2020), International Labour Organization, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---act_emp/documents/publication/wcms_740375.pdf. Genève, Switzerland.
- [53] *Prevention and Mitigation of COVID-19 at Work Action Checklist*, (April 2020), International Labour Organization, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/instructionalmaterial/wcms_741813.pdf. Genève, Switzerland.
- [54] *Covid-19 risk assessment guidance*, (2020). Institution of Occupational Safety and Health, <https://iosh.com/media/7811/iosh-risk-assessment-guide.pdf>. Leicestershire, UK.
- [55] Atalay, O., & Kılıç, Ö., (2015). Balık Kılıcı Yöntemi ile Mobil Vinç Kazası Olası Nedenlerinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30 (1), 73-78.
- [56] Ilie, G., & Ciocoiu, C.N., (2010). Application of Fishbone diagram to determine the risk of an event with multiple causes. *Management Research and Practice*, 2, 1-20.
- [57] Phillips, J., & Simmonds, L., (2013). Using fishbone analysis to investigate problems. *Nursing Times*, 109(15):18-20.
- [58] Li, S.S., & Lee, L.C., (2011). Using fishbone analysis to improve the quality of proposals for science and technology programs, *Research Evaluation*, 20(4), 275-282.
- [59] Luo, T., Wu, C., & Duan, L., (2018). Fishbone diagram and risk matrix analysis method and its application in safety assessment of natural gas spherical tank, *Journal of Cleaner Production*, 174, 296-304.
- [60] Yazdani, A., & Tavakkoli-Moghaddam, R., (2012). Integration of the fish bone diagram, brainstorming, and AHP method for problem solving and decision making a case study. *Int J Adv Manuf Technol*, 63, 651-657.
- [61] Worch, T., Dooley, L., Meullenet, J.F., Pieter H., & Punter, P.H., (2010). Comparison of PLS dummy variables and Fishbone method to determine optimal product characteristics from ideal profiles, *Food Quality and Preference*, 21(8), 1077-1087.
- [62] Çelikçapa, F., (1993). Toplam Kalite Kontrolü ve Bursa Bölgesindeki Kalite Kontrol Uygulamalarına İlişkin Bir Araştırma, *Busiad Yayınları*, 48-49.
- [63] Ishikawa, K., (1991). Guide to Quality Control, *Asian Productivity Organisation*.
- [64] Akşit, C., (1999). Türk Silahlı Kuvvetlerinde Toplam Kalite Uygulamaları-2, Ankara, Genel Kurmay Bsmv.

Microstructure and Mechanical Properties of Composites of Bovine Derived Hydroxyapatite (BHA) Reinforced with MgF₂

MgF₂ ile Güçlendirilmiş Sığır Kaynaklı Hidroksiapatit (BHA) Kompozitlerinin Mikroyapısı ve Mekanik Özellikleri

Mustafa ŞENGÖR¹ 

¹ Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul, Türkiye

Abstract

Composites of calcinated bovine bone derived hydroxyapatite (BHA) doped 1 and 2 wt% MgF₂ were prepared by a sintering process. Microstructure and crystallographic analyses along with measurements of density, compression strength, and microhardness were carried out in the produced samples. The experimental results indicated a beneficial effect of MgF₂ in the matrix of BHA reflected in the significant increase of compression strength and microhardness up to 143 MPa and 313 HV, respectively, achieved after sintering at 1300 °C for 2% MgF₂ addition. The presence of MgF₂ reduced the onset of sintering towards lower temperatures (i.e. 1100 °C) and increased the stability of hydroxyapatite towards transformation to TCP at 1300 °C. The influence of Mg²⁺ and F⁻ ions in the lattice of hydroxyapatite is discussed.

Keywords: Bovine derived hydroxyapatite; MgF₂; sintering; mechanical properties; microstructure.

Öz

Kalsine edilmiş sığır kemiğinden elde edilen hidroksiapatit (BHA) ile ağırlıkça% 1 ve ağırlıkça% 2 MgF₂ katkılı kompozitleri bir sinterleme işlemi ile hazırlandı. Üretilen numunelerde mikroyapı ve kristalografik analizler ile birlikte yoğunluk, basma mukavemeti ve mikrosertlik ölçümleri yapıldı. Deneysel sonuçlar, % 2 MgF₂ ilavesi ve 1300°C'de sinterlemeden sonra elde edilen BHA matrisin, sıkıştırma mukavemeti ve mikro sertlikteki önemli artışa (sırasıyla 143 MPa ve 313 HV'ye kadar) neden olduğunu gösterdi. MgF₂'nin varlığı, sinterleme başlangıcını daha düşük sıcaklıklara (~ 1100°C) düşürdü ve hidroksiapatitin 1300°C'de TCP'ye dönüşüme karşı stabilitesini arttırdı. Mg²⁺ ve F⁻ iyonlarının hidroksiapatit örgüsündeki etkisi tartışıldı.

Anahtar Kelimeler: Sığır hidroksiapatiti; MgF₂; sinterleme; mekanik özellikler; mikroyapı.

I. INTRODUCTION

The facts of life prolongation due to health care and the increase of sport and traffic accidents, in conjunction with the well-known intrinsic problems of autografts and allografts (e.g., availability, cost, viability, reproducibility), emerge the technology of biomaterials as to be of high social impact for the individuals, both elderly and young people, and the governments, especially the gross income of developed countries. In the case of hard-tissue prostheses and tissue engineering, hydroxyapatite (HA, Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂), that is the mineral of bones and teeth, is perhaps the most popular ceramic compound nowadays used in clinical applications, since it exhibits excellent biocompatibility and ability to establish direct bonding to natural bones. Comparing to synthetic HAs, biological apatites feature several substitutions at the Ca²⁺, PO₄³⁻ and OH⁻ sites of HA-lattice [1].

Composite materials with key bio-ceramic inclusions are preferred in many clinical applications. Bone is a composite structure of our body based on crucial element of HA and calcium phosphates. Synthetic, artificial bone composite materials usually used a host polymer with calcium phosphates. Some of the problems that will arise are due to the compatibility issues, osseointegration problems and mechanical performances [2].

As far as the application of HA in biomedicine is concerned, the brittle nature of HA limits its use only in coatings or low-load bearing applications. Accordingly, the reinforcement of HA matrix will expand the applications of this highly osseointegrating and conductive material. Reinforcing bioinert ceramics like Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂ and MgF₂ to increase mechanical performances of HA [3]. In the present study, the influence of MgF₂-doping (1-2 wt%) on reinforcing sintered HA materials were investigated, where HA was derived from calcinated bovine bone (BHA). The reinforcing effect of the dopant is assumed to be a result of the developed microstructure and the

crystalline phases formed after sintering. Magnesium is a body-friendly material with an essential role in the human body [4], for instance at reducing risks of cardiovascular diseases, promoting catalytic reactions, controlling biological functions, and in the mineralization of calcined tissues. Approximately 60 to 70% of total body's Mg-content is in the skeleton, as substitution ion in HA lattice. Approximately 0.38 wt% of cattle bone is Mg [4]. Mg²⁺ ions seemingly affect the conductivity of osteoclasts and osteoblasts [5]. Traces of Mg in natural bone affect cell adhesion and bone formation [6]. Hence, several compounds of Mg have been considered in biomedicine, such as bredigite (Ca₇MgSi₄O₁₆, considered as similarly bioactive to CaO-SiO₂), forsterite (Mg₂SiO₄), and enstatite (MgSiO₃, considered as machinable biomaterial) [7].

With respect to HA composites, the presence of Mg in HA is related to apatite crystallization and stability, such as the thermal conversion to β -tricalcium phosphate (β -TCP, Ca₃(PO₄)₂). Lim and Kim *et al.* doped HA with 1% MgO [8], MgF₂ and CaF₂ [9] and found that substitution of F⁻ for OH⁻ caused an enhancing effect on cell culture tests. The same occurred in the case of MgF₂ comparing to CaF₂. From the same study, using HA-20% Al₂O₃ doped with 5% MgF₂, HA-dissociation was entirely inhibited below 1400°C. The effect of fluorine was also verified by Evis *et al.*, in terms of increasing chemical stability, thermal stability and hardness, who produced HA-composites by doping with partially stabilized zirconia and MgF₂ or MgO [10]. The presence of MgF₂ in HA matrix favors the reduction of porosity of sintered bodies and the formation of secondary phases (i.e., α -TCP) after sintering at 1400°C [11].

II. MATERIALS AND EXPERIMENTAL PROCEDURE

The powder of bovine derived hydroxyapatite, BHA, was produced according to the method described in earlier studies [12-17]. In brief, freshly cut femurs were deproteinized with 4 N NaOH solution (48 h). After re-irrigation, the samples were subjected to heat treatment at 850 °C for 4 h in open air to securely eliminate any risk of fatal disease transmission [18]. The calcinated BHA bulk pieces were properly ball-milled until fine (<10 μ m) BHA powder was obtained.

The BHA fine powder was mixed with 1 and 2 wt% MgF₂ powder (Sigma Aldrich, 99.9% purity, 3-6 mm particle size). The powder mixture was well homogenized by planetary ball-milling in acetone media using a zirconium oxide (yttrium stabilized) jar and balls (Retsch PM 100 SM 100, Haan, Germany). The resultant powders were well dried. Cylindrical pellets were prepared by uni-axially pressing at 350 MPa according to British Standard BS 7253. The green pellets were sintered at 1000, 1100, 1200, and 1300 °C for 4 h in an open air furnace (Nabertherm HTC 3 /14,

Lilienthal, Germany) with heating and cooling rates of 5 K/min.

The compressive strength of the sintered samples was measured in a universal testing machine (Instron-8511, Norwood, MA 02062-2643, USA, displacement 2 mm/min). Their Vickers microhardness was measured in a Shimadzu testing unit (Shimadzu Inc., HVM-2, Japan, load 200 g). Density was measured by Archimedes method by employing a pycnometer (ULTRAPYC 1200e, Quantachrome, Boynton Beach, Florida 33426, USA). The presenting results were obtained from 10 different samples. The microstructure of the samples was observed in a field emission scanning electron microscope (FE-SEM, Hitachi S-4100, Japan) under secondary electron mode (Figure 1). The crystalline phases were identified by X-ray diffraction analysis (XRD, Rigaku Geigerflex D/Mac, C Series, Japan, Cu K_a radiation 1.5406 nm produced at 30 kV and 25 mA, 2 θ step 0.02 °/s).

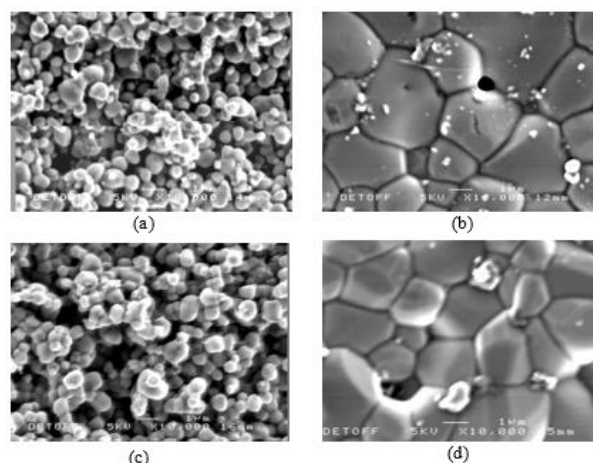


Figure 1. Microstructure of BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures: (a) BHA-1 wt% MgF₂ 1000 °C, (b) BHA-1 wt% MgF₂ 1300 °C, (c) BHA-2 wt% MgF₂ 1000 °C, (d) BHA- 2 wt% MgF₂ 1300 °C.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the experimental results (and their standard deviation) of density (d), compressive strength (σ), and Vickers microhardness (HV) of the produced BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures. Tables 2 and 3 were prepared with results reported in earlier studies for similarly produced samples of BHA doped with CaF₂ (0.5 and 1.0 wt%) [19], and pure BHA [20]. Table 3 in conjunction with the results of earlier studies [21] indicates 1200 and 1300 °C as the optimum sintering temperatures with respect to the maximum strength of pure BHA-materials obtained. The results of compressive strength of Table 1 indicate that doping of BHA with MgF₂ shifts sintering onset towards lower temperatures. This effect is more pronounced in the case of lower (1 wt%) amount of MgF₂. This result has higher significance since the samples have still low densification degree at

1100 °C, which means that there are porosity and little formation of glassy phase (due to eutectic melting) that closes the pores and increases microhardness. Therefore, if moderate compressive strength is required in a specific application, then MgF₂-doping can result in a suitably strong scaffold of small porosity (i.e., low densification) that maintains all the features of calcinated BHA before the occurrence of the strong effect of extensive sintering.

Table 1. Influence of MgF₂-content (1 and 2 wt%) on density (d), compression strength (σ) and Vickers micro-hardness (HV) of BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures (the standard deviation of density was <0.001 g/cm³).

T (°C)	d (g/cm ³)		σ (MPa)		HV	
	1	2	1	2	1	2
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
1000	2.181	2.156	35.5 ± 2.1	29.4 ± 6.6	115 ± 94	139 ± 7
1100	2.281	2.165	83.5 ± 8.6	45.9 ± 7.0	168 ± 15	155 ± 13
1200	2.611	2.446	109.0 ± 3.1	63.5 ± 15.6	289 ± 14	231 ± 14
1300	2.976	2.884	125.0 ± 4.5	143.0 ± 27.48	291 ± 14	313 ± 22

However, Table 1 shows that sintering successfully takes place at 1200 and 1300 °C. The highest values of the measured magnitudes were obtained at 1300 °C. This means that the glassy phase formed, due to the presence of MgF₂ and the phenomenon of sintering itself, did not jeopardize the properties of the resultant composites, whereas the properties of pure BHA samples (Table 3) slightly decay at 1300 °C (than 1200 °C). The presence of MgF₂ should favor the formation of strong glassy phase at 1300 °C since the highest values of compression strength and hardness were achieved in the case of 2 wt% MgF₂ than 1%. The slightly lower values of density in the samples with 2 wt% than 1 wt% may not represent poorer densification, but they are due to the lower density of MgF₂ than BHA (so, the higher amount of MgF₂ added, the lower density of the resultant composite – densification results of BHA doped with the heavy CaF₂, shown in Table 2, support this consideration).

Table 2. Influence of CaF₂-content (0.5% and 1.0%) on density (d) and compression strength (σ) of BHA-CaF₂ composites sintered at different temperatures reported in an earlier study [19].

T (°C)	d (g/cm ³)		σ (MPa)	
	0.5%	1.0%	0.5%	1.0%
1000	2.893 ± 0.01	3.117 ± 0.01	31.8 ± 9.1	15.4 ± 4.4
1100	3.002 ± 0.01	3.074 ± 0.03	42.7 ± 7.4	16.7 ± 3.9
1200	3.152 ± 0.03	3.134 ± 0.05	48.3 ± 10.2	28.2 ± 13.3
1300	3.026 ± 0.01	3.183 ± 0.01	35.5 ± 14.5	36.0 ± 4.6

In general, doping with MgF₂ caused a considerable increase in compression strength and hardness of BHA. The low density of MgF₂ and the small amount of MgF₂ needed to achieve high mechanical properties are two extra advantages since the final implant material will be both strong and with low weight. The superior effect of MgF₂ is clear by comparing the results of Table 1 with the poor mechanical properties of the BHA samples doped with CaF₂, assuming the similar chemical nature of the two alkaline earth ions of Mg and Ca.

Table 3. Mechanical properties (compression strength, σ and Vickers micro-hardness, HV) of BHA samples sintered at different temperatures reported in earlier studies [20].

T (°C)	BHA		BHA	
	σ (MPa)	HV	σ (MPa)	HV
1000	12 ± 2	42 ± 2	48.2 ± 20.0	85.4 ± 9.4
1100	23 ± 3	92 ± 4	22.2 ± 5.1	74.2 ± 19.8
1200	67 ± 7	138 ± 3	75.2 ± 18.3	148.5 ± 10.5
1300	62 ± 11	145 ± 3	65.0 ± 41.6	130.7 ± 17.9

From the literature, BHA-MgO composites sintered at 1300 °C have reached compression strength of 121.85 and 98.23 MPa [6] and microhardness of 305 and 218 HV [8] for 5 and 10 % MgO, respectively. Evis *et al.* found that HA composites doped with 5 % MgF₂ have higher hardness than those with 5 % MgO [11]. They postulated that the fluorine ions of MgF₂ diffuse into the lattice of HA and result in increased thermal stability and mechanical properties of the sintered materials. Similar high values have been reported for BHA-TiO₂ composites (at 1300 °C 105 MPa and 204 HV for 5% TiO₂ and 247 HV for 10% TiO₂, and at 1200 °C 104 MPa for 10% TiO₂) [22]. However, the mechanism of reinforcement should be rather governed by the high chemical affinity of Ti to oxygen than the diffusion of the cation of titanium into HA lattice. Strong materials were fabricated when BHA was doped with inert glass (105 MPa for 5% glass at 1300 °C and 133 MPa for 10% glass at 1200 °C) [23]. Erkmen *et al.* have achieved 100 MPa of compression strength in tooth-enamel derived-HA doped with partially stabilized zirconia [24].

The results of microstructure observations, shown in Fig. 1, and crystallographic analysis, shown in Fig. 2,

agree with the above conclusions for the BHA-MgF₂ composites. The SEM images of Figs. 1a and 1c suggest a poor sintering regime at 1000 °C, where the initial submicron powder particles of BHA are loosely connected one to the other. Sintering is complete at 1300°C (Figs. 1b and 1d). The corresponding X-ray diffractograms predominantly registered the patterns of apatite. Although the X-ray peaks of HA and fluorapatite (FA) are almost superimposed, the presence of fluorine (due to MgF₂) in FA may be suggested due to the high mechanical properties of Table 1 (comparing to pure BHA of Table 2), since it is well known that fluorine reinforces HA. Peaks of isokite (CaMgPO₄F) can also be suggested. It is worthy noted that the produced materials exhibited remarkable thermal stability at 1300 °C since the peaks of apatite maintain their intensity. No peaks of TCP were registered at all, although the SEM images suggest intensive sintering. This stability was already indicated in the results of Table 1. The low amount of MgF₂ does not cause any perceptible difference between the samples having a different amount of MgF₂ in either SEM-micrographs or X-ray diffractograms.

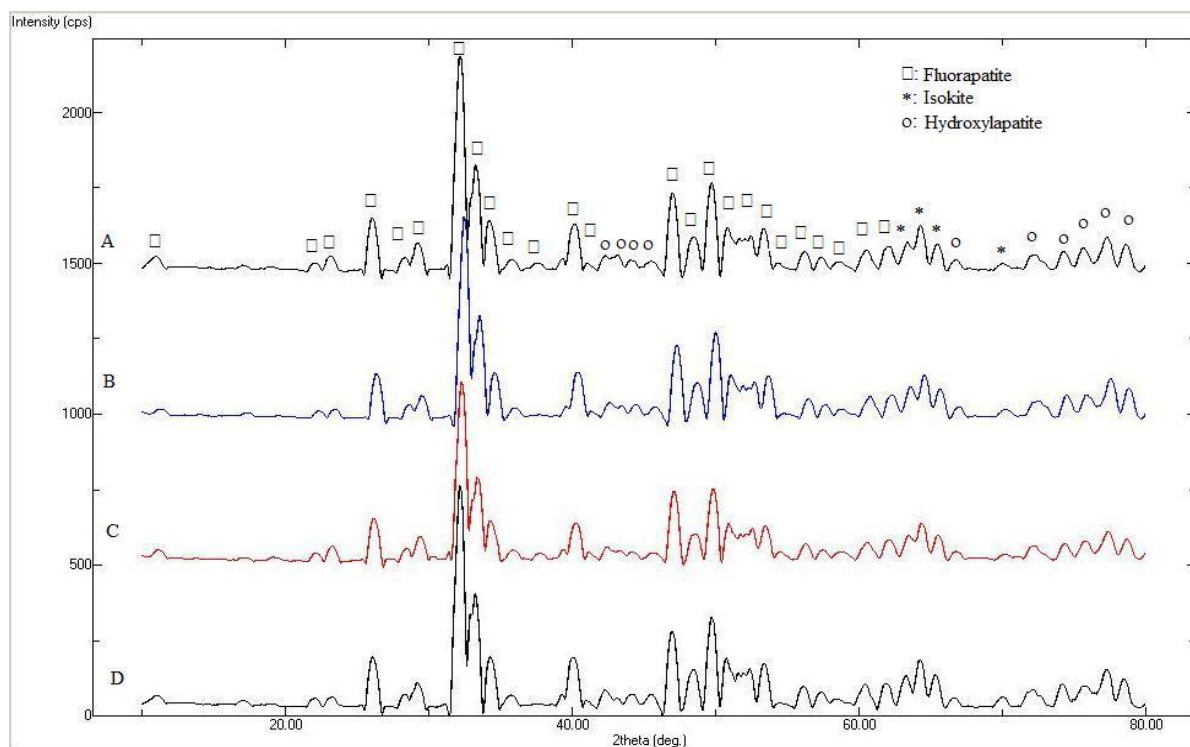


Figure 2. X-ray diffractograms of BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures: (A) BHA-1 wt% MgF₂ 1000 °C, (B) BHA-1 wt% MgF₂ 1300 °C, (C) BHA-2 wt% MgF₂ 1000 °C, (D) BHA-2 wt% MgF₂ 1300 °C. (The peaks have been identified with the ICDD cards: HA 84-1998; FA 15-0876; Isokite (CaMgPO₄F) 7-0406).

In this study, naturally derived apatite (and not synthetic chemically produced HA) was intentionally selected, considering it as an economic, endlessly available, and designed by the nature herself material. Indeed, HA materials produced via powder processing

route, where HA was obtained from bovine bone, has been proven that have great potential for bone substitute owing to their excellent biocompatible and osteoconductive properties [25]. Animal bones [26], teeth [27] as well as hydrothermally transformed

aragonite skeletons of sea creatures [28] are abundant sources of naturally derived apatite. However, all the necessary safety precautions for eliminating all possible risks of transmitting incurable and fatal diseases from the animal-donors, such as human immunodeficiency virus (HIV), or bovine spongiform encephalopathy (BSE), should be taken [29]. Calcination method, as applied in this present study, makes the transmission of such prions impossible since no protein can survive at a high temperature of 850 °C for several hours [22].

The good results of the present study, in terms of the considerable increase of mechanical properties of BHA matrix by doping with only 1 and 2% MgF₂, indicate the produced composites for further consideration and experimentation in biomedicine, either in bulk or in coating (e.g., plasma-spray) form. These good results should be attributed to the influence of both the cation Mg²⁺ and the anion F⁻ in apatite lattice. However, to shed light on the precise influence of these elements in apatite lattice (such as by Rietvelt analysis [30], that is beyond the scope of the present article), HA of high purity must be used, since biological apatites feature several substitutions in their lattice.

IV. CONCLUSION

The results of this study showed that MgF₂ could successfully dope the matrix of bovine derived hydroxyapatite (BHA) since doping with only 1 and 2 wt% MgF₂ significantly increased the mechanical properties of BHA. The highest values of compression strength were achieved after sintering at 1300 °C: 143 MPa for 2 wt% MgF₂ and 125 MPa for 1 wt% MgF₂ addition. At the same sintering temperature, the highest HV values were obtained as 291 HV for 1% MgF₂ and 313 HV for 2% MgF₂. The effect of reinforcement should be attributed to the influence of both the cation Mg²⁺ and the anion F⁻ in apatite lattice. Moreover, the experimental results suggest that the presence of MgF₂ seemingly favors the shift of the onset of sintering towards lower temperatures (i.e. towards 1100 °C) and increases the thermal stability of HA towards transformation to TCP at 1300 °C.

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to very special thank Prof. Faik Nuzhet Otkar and Oguzhan Gunduz for supporting and also helping in this research.

REFERENCES

- [1] Otkar, F.N., Yetmez, M., Agathopoulos, S., Lopez Goerne, T.M., Goller, G., Peker, I. and et al., (2006). Bond-coating in plasma-sprayed calcium-phosphate coatings. *J Mater Sci: Mater in Med*, 17, 1161-71.
- [2] Moukbil, Y., Isindag, B., Gayir, V., Ozbek, B., Haskoylu, M. E., Oner, E. T., Otkar, F. N., Ikram, F., Sengor, M., & Gunduz, O. (2020). 3D printed bioactive composite scaffolds for bone tissue engineering. *Bioprinting*, 17, e00064.
- [3] Ibrahim, M., Labaki, M., Giraudon, J.-M., & Lamonier, J.-F. (2020). Hydroxyapatite, a multifunctional material for air, water and soil pollution control: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121139.
- [4] Tiyyagura, H. R., Puliyalil, H., Filipič, G., Kumar, K. C., Pottathara, Y. B., Rudolf, R., Fuchs-Godec, R., Mohan, M. K., & Cvelbar, U. (2020). Corrosion studies of plasma modified magnesium alloy in simulated body fluid (SBF) solutions. *Surface and Coatings Technology*, 385, 125434.
- [5] Yamasaki, Y., Yoshida, Y., Okazaki, M., Shimazu, A., Kubo, T., Akagawa, Y., & Uchida, T. (2003). Action of FGMgCO3Ap-collagen composite in promoting bone formation. *Biomaterials*, 24(27), 4913–4920.
- [6] Cai, Y., Zhang, S., Zeng, X., Wang, Y., Qian, M., & Weng, W. (2009). Improvement of bioactivity with magnesium and fluorine ions incorporated hydroxyapatite coatings via sol–gel deposition on Ti6Al4V alloys. *Thin Solid Films*, 517(17), 5347–5351.
- [7] Jadidi, A., & Salahinejad, E. (2020). Mechanical strength and biocompatibility of bredigite (Ca7MgSi4O16) tissue-engineering scaffolds modified by aliphatic polyester coatings. *Ceramics International*, 46(10, Part B), 16439–16446.
- [8] Otkar, F. N., Agathopoulos, S., Ozyegin, L. S., Gunduz, O., Demirkol, N., Bozkurt, Y., & Salman, S. (2007). Mechanical properties of bovine hydroxyapatite (BHA) composites doped with SiO₂, MgO, Al₂O₃, and ZrO₂. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 18(11), 2137–2143.
- [9] Kim, S.-J., Bang, H.-G., Song, J.-H., & Park, S.-Y. (2009). Effect of fluoride additive on the mechanical properties of hydroxyapatite/alumina composites. *Ceramics International*, 35(4), 1647–1650.
- [10] Evis, Z., Usta, M., & Kutbay, I. (2009). Improvement in sinterability and phase stability of hydroxyapatite and partially stabilized zirconia composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 29(4), 621–628.
- [11] Evis, Z., Usta, M., & Kutbay, I. (2008). Hydroxyapatite and zirconia composites: Effect of MgO and MgF₂ on the stability of phases and sinterability. *Materials Chemistry and Physics*, 110(1), 68–75.
- [12] Otkar, F. N., K, K., & E, P. (1999). Characterization of Processed Tooth Hydroxyapatite for Potential Biomedical Implant Applications. *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology*, 27(4), 367–379.
- [13] Carvalho, A. L., Faria, P. E. P., Grisi, M. F. M., Souza, S. L. S., Taba Jr, M., Palioto, D. B., Novaes Jr, A. B., Fraga, A. F., Ozyegin, L. S.,

- Oktar, F. N., & Salata, L. A. (2007). Effects of Granule Size on the Osteoconductivity of Bovine and Synthetic Hydroxyapatite: A Histologic and Histometric Study in Dogs. *Journal of Oral Implantology*, 33(5), 267–276.
- [14] Gunduz, O., Daglilar, S., Salman, S., Ekren, N., Agathopoulos, S., & Oktar, F. N. (2008). Effect of Yttria-doping on Mechanical Properties of Bovine Hydroxyapatite (BHA). *Journal of Composite Materials*, 42(13), 1281–1287.
- [15] Komur, B., Lohse, T., Can, H. M., Khalilova, G., Geçimli, Z. N., Aydoğdu, M. O., Kalkandelen, C., Stan, G. E., Sahin, Y. M., Sengil, A. Z., Suleymanoglu, M., Kuruca, S. E., Oktar, F. N., Salman, S., Ekren, N., Ficali, A., & Gunduz, O. (2016). Fabrication of naturel pumice/hydroxyapatite composite for biomedical engineering. *BioMedical Engineering OnLine*, 15(1), 81.
- [16] Salman, S., Gunduz, O., Yilmaz, S., Öveçoğlu, M. L., Snyder, R. L., Agathopoulos, S., & Oktar, F. N. (2009). Sintering effect on mechanical properties of composites of natural hydroxyapatites and titanium. *Ceramics International*, 35(7), 2965–2971.
- [17] Gunduz, O., Erkan, E. M., Daglilar, S., Salman, S., Agathopoulos, S., & Oktar, F. N. (2008). Composites of bovine hydroxyapatite (BHA) and ZnO. *Journal of Materials Science*, 43(8), 2536–2540.
- [18] Ozyegin, L. S., Oktar, F. N., Goller, G., Kayali, E. S., & Yazici, T. (2004). Plasma-sprayed bovine hydroxyapatite coatings. *Materials Letters*, 58(21), 2605–2609.
- [19] Ozyegin, L. S., Oktar, F. N., Agathopoulos, S., Salman, S., Bozkurt, Y., & Eruslu, N. (2007). Improvement of Microstructure of Bovine Hydroxyapatite (BHA) by Doping with Calcium Fluoride. *Bioceramics* 19, 330, 43–46.
- [20] Goller, G., Oktar, F. N., Agathopoulos, S., Tulyaganov, D. U., Ferreira, J. M. F., Kayali, E. S., & Peker, I. (2006). Effect of sintering temperature on mechanical and microstructural properties of bovine hydroxyapatite (BHA). *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 37(2), 111–115.
- [21] Gören, Ş., Gökbayrak, H., & Altıntaş, S. (2004). Production of hydroxyapatite from animal bone. *Key Engineering Materials*, 264–268, Issue III, pp. 1949–1952.
- [22] Oktar, F. N. (2006). Hydroxyapatite–TiO₂ composites. *Materials Letters*, 60(17), 2207–2210.
- [23] Salman, S., Oktar, F. N., Gunduz, O., Agathopoulos, S., Öveçoğlu, M. L., & Kayali, E. S. (2007). Sintering Effect on Mechanical Properties of Composites Made of Bovine Hydroxyapatite (BHA) and Commercial Inert Glass (CIG). *Key Engineering Materials*, 330–332, 189–192.
- [24] Erkmén, Z. E., Genç, Y., & Oktar, F. N. (2007). Microstructural and mechanical properties of hydroxyapatite-zirconia composites. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), 2885–2892.
- [25] Göller, G., & Oktar, F. N. (2002). Sintering effects on mechanical properties of biologically derived dentine hydroxyapatite. *Materials Letters*, 56(3), 142–147.
- [26] Mucalo, M. R. (2015). 14 - Animal-bone derived hydroxyapatite in biomedical applications. In M. Mucalo (Ed.), *Hydroxyapatite (Hap) for Biomedical Applications* (pp. 307–342). Woodhead Publishing.
- [27] Kürkcü, M., Benlidayı, M. E., Özsoy, S., Özyeğin, L. S., Oktar, F. N., & Kurtoğlu, C. (2008). Histomorphometric evaluation of implants coated with enamel or dentine derived fluoride-substituted apatite. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 19(1), 59–65.
- [28] Rocha, J., Lemos, A. F., Sanjeevi, K., Agathopoulos, S., & Ferreira, J. (2005). Hydroxyapatite Scaffolds Hydrothermally Grown from Aragonitic Cuttlefish Bones. *Journal of Materials Chemistry*, 15.
- [29] Anderson, I., Mucalo, M., Johnson, G., & Lorier, M. A. (2000). The processing and characterization of animal-derived bone to yield materials with biomedical applications. Part III. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 11, 743–749.
- [30] Kannan, S., Goetz-Neunhoeffler, F., Neubauer, J., & Ferreira, J. M. F. (2008). Ionic substitutions in biphasic hydroxyapatite and β-S-tricalcium phosphate mixtures: Structural analysis by rietveld refinement. *Journal of the American Ceramic Society*, 91(1), 1–12.

CAPTIONS OF FIGURES

Fig. 1. Microstructure of BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures: (a) BHA-1 wt% MgF₂ 1000 °C, (b) BHA-1 wt% MgF₂ 1300 °C, (c) BHA-2 wt% MgF₂ 1000 °C, (d) BHA- 2 wt% MgF₂ 1300 °C.

Fig. 2. X-ray diffractograms of BHA-MgF₂ composites sintered at different temperatures: (A) BHA-1 wt% MgF₂ 1000 °C, (B) BHA-1 wt% MgF₂ 1300 °C, (C) BHA-2 wt% MgF₂ 1000 °C, (D) BHA-2 wt% MgF₂ 1300 °C. (The peaks have been identified with the ICDD cards: HA 84-1998; FA 15- 0876; Isokite (CaMgPO₄F) 7-0406).

The Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety

Endüstri 4.0'ın İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerindeki Etkisi

Serap TEPE¹ 

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34668, Üsküdar, İstanbul

Abstract

When the subject is change, there are a few options: The first is to lead the change and make the rules, the second is to be a quick follower of the change and not to fall behind, and the third is to wait for the change to change you. Industry 4.0, as one of the largest drivers of change, makes its presence felt in all work fields and enables new applications to participate in different sectors. The main question here is how a multi-disciplinary and proactive domain like Occupational Health and Safety (OHS) will be affected by the winds of change in Industry 4.0. Technological developments have changed the substance of the problems and the variety of solutions in the OHS domain. In this paper, the components forming the substance of the Industry 4.0 philosophy are introduced, and good operational examples of these components in OHS have been investigated. The purpose of this study is to consider the effect of Industry 4.0 on the OHS domain and make it more capable of being defined in a theoretical context. Hence, the advantages and disadvantages of the subject are discussed by introducing Industry 4.0-based OHS applications for different sectors in Turkey. Expectations from employees in the transition to Industry 4.0 will change. Employees who can process digital data, who have knowledge about different disciplines and who are eager to work with the multidisciplinary fields will be the people are preferred in the new industrial age. However, this status will affect the social lives of the employees. New risks are expected to reveal different occupational diseases and accidents. Occupational health and safety measures to be taken by experts should be adapted to new standards and legislation should be updated to cover these issues.

Keywords: Industry 4.0, occupational health, safety

Öz

Söz konusu değişim olduğunda, birkaç seçenek vardır: ilki, değişime önderlik etmek ve kuralları koymak; ikincisi, değişimin hızlı bir takipçisi olmak ve geride kalmamak; üçüncüsü ise değişimin sizi değiştirmesini beklemektir. Değişimin en büyük öznelerinden biri olan Endüstri 4.0, tüm çalışma alanlarında varlığını hissettirmekte ve yeni uygulamaların farklı sektörlerde hayat bulmasına sebep olmaktadır. Buradaki temel soru İş Sağlığı ve Güvenliği gibi multidisipliner ve proaktif bir alanın Endüstri 4.0 değişim rüzgarından nasıl etkileneceğidir. Teknolojik gelişmeler, İş Sağlığı ve Güvenliği alanındaki problemlerin içeriğini ve çözüm yollarının çeşitliliğini değiştirmiştir. Bu çalışmada Endüstri 4.0 felsefesinin özünü oluşturan bileşenler tanımlanmış ve bu bileşenlerin İş Sağlığı ve Güvenliği alanındaki iyi uygulama örnekleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Endüstri 4.0'ın İş Sağlığı ve Güvenliği alanına etkisini kavramsal çerçevede daha tanımlanabilir hale getirmektir. Bu nedenle ülkemizde farklı sektörlerden endüstri 4.0 tabanlı İş Sağlığı ve Güvenliği uygulamaları tanıtılarak konunun avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, mesleki sağlık, güvenlik

I. INTRODUCTION

In recent years, Industry 4.0 is regarded as having created new value with developing technology and social expectations. Industry 4.0, which seems to be the preferred method for companies that aim to produce independent products internationally, also brings new approaches in manufacturing as well. Apart from the traditional meaning, data processing and transfer is carried out in a different dimension within Industry 4.0 [1]. Industry 4.0 defines the Fourth Industrial Revolution, a new level in the organization and management of the entire value chain of the life cycle of products and production systems. This cycle focuses on ever-increasing individual customer needs and includes all-in-one services that encompass product development and production orders, beginning with an intellectual phase and involve product end-user distribution and recycling. As resources decrease day by day worldwide and production volume increases, production systems are also changing. While there are many factors that cause this change, the main reasons are increasing costs, constant innovation expectations and increasingly global competition. With this new process called Industry 4.0, digitalization can be realized at every stage of production, making it possible to meet market requirements faster, more flexibly and more efficiently. It is known

that production technologies are changing over time. Day-to-day manufacturing and manufacturing technologies from earlier times are being dynamically renewed. Producing goods and services efficiently is also important in terms of the competitive environment. A market economy makes competition compulsory, and businesses that produce goods and services are forced to deliver cheaper, faster and more efficient production. Otherwise – due to the competitive conditions – the business will not survive and will have to withdraw from the market. Management knowledge ensures that these businesses comply with such competitive conditions and suggests ways to take necessary measures to keep them alive [2]. At the new level to be reached with Industry 4.0, the connection of people, objects and systems will be common and efficient. Thanks to this, a dynamic, real-time optimized, self-organizing infrastructure will spread across the entire organization and form inter-organizational value-added networks. These networks will have the ability to optimize themselves according to various criteria, such as cost, availability and resource utilization. The emergence of mechanical industry in the industrial revolution of the 18th century formed the first industrial revolution, the discovery of electric motors in the 19th century spawned the second industrial revolution, and the introduction of electronic and information technologies in industrial systems underpinned the third industrial revolution and created the basis for Industry 4.0. The history of industry is shown in figure 1.

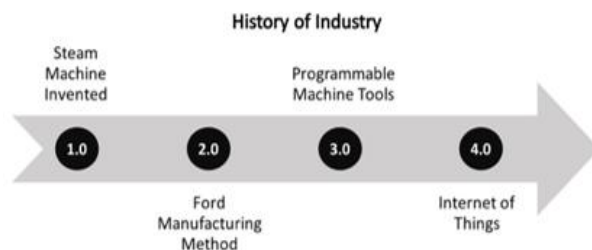


Figure 1. History of industry

All these industrial revolutions did not just influence production itself, but also the labour market and the educational system as well. Industry 4.0 is a term first used in the Hannover Fair in Germany in 2011 and in an academic article by Kagermann. After putting forward the main idea of Industry 4.0 by Kagermann (2011), a theoretical framework from the German Academy of Sciences and Engineering was published in 2013 as the “manifesto”. In the final report of the German Academy of Sciences and Engineering Industry 4.0 forum, the distinguishing innovations that this new era is bringing about are:

- The global interaction of storage systems and resources with machines.
- The development of unique intelligent products with location knowledge.

- Intelligent factories that adapt to product specifications and provide resource optimization.
- The realization of new business models (new services resulting from the use of big data).
- New social infrastructure in the workplace for employees.
- Business structures sensitive to individual differences.
- A better work/life balance.
- Responding to individual consumer demands.
- Intelligent software developed for immediate engineering and instantaneous response to problems.

The European Commission’s Industrial 4.0 paradigm, which internalizes the basic development in Germany, is shaped largely in three dimensions:

- Horizontal integration between value creation networks.
- End-to-end engineering in the product life cycle.
- Connectivity and vertical integration in manufacturing systems [3].

Industry 4.0 is considered to be the optimal digitization of the manufacturing sector and helps the emergence of analytical and business intelligence capabilities, new forms of human-machine interaction, such as touch interfaces and enhanced reality systems, and a new stream of improvements in the transfer of digital instructions such as 3D printing in the physical world. In other words, the production of intelligent products and services with intelligent robots in smart factories is known as the fourth industrial revolution. The latest technological change and transformation in the industry has begun with Industry 4.0 and continues at a rapid pace. Electronic information network systems (Internet) are at the core of this industrial revolution, and of Industry 4.0. Industry 4.0 emerges as a digitalization and automation of all processes of a company, and aims to bring this new technology to business models, product production chains and industry in general by combining intelligent product manufacturing processes with revolutionary embedded system technology.

Industry 4.0 delivers:

- Low-cost production
- Increased productivity
- Higher quality products and services
- Production with fewer errors
- Minimum production time
- Flexible production systems that can respond to customer requests more quickly are achievable.

The Industry 4.0 revolution is not only about smart and connected machines and systems, the scope is much broader. From nanotechnologies to renewable energy, simultaneous development in each field is being

experienced. It basically differs in that these technologies are intertwined and merged, and they interact in the physical, digital and biological fields. Beyond speed and breadth, Industry 4.0 is largely increasing alignment of different disciplines and research, and is also unique because of its integration. The effects of the Industry 4.0 revolution we live in will determine the level of competencies in every area up to strategic goals. Therefore, in recent years, academic studies have been carried out in many fields from science to law and from industry to economics. In addition to the many advantages that Industry 4.0 brings and will bring in, some of the disadvantages should be mentioned. As known, occupational health and safety (OHS) is a set of processes aimed at reducing all employee-related risks to the minimum possible level. OHS is a proactive and multidisciplinary field. This field is very suitable for innovations and technology use. Thus, Industry 4.0 applications in the field of occupational health and safety are widely available. In this study, the components of Industry 4.0 will each be explained, and Industry 4.0 applications used in the field of OHS will be discussed to highlight the advantages and disadvantages with respect to OHS. The rest of this paper is organized as follows. Section 2 includes the definitions and the preliminaries on Industry 4.0. Cyber Physical Systems, Internet of Things, Big Data, Cloud Systems, Cyber Security and Virtual Reality which are the components forming the substance of the Industry 4.0 philosophy are introduced. Section 3 summarizes the findings the good operational examples of these components in OHS. Section 4 discusses the new risks are expected to reveal different occupational diseases and accidents. Finally, the study is concluded in the last section.

II. METHODOLOGY

When considering the innovations and working principles of Industry 4.0, it is clear that cyber physical systems, big data, the Internet of Things (IoT), virtual reality and cyber security are very closely related. This relationship also considers what each stakeholder needs to do in order for the system to progress seamlessly. The components of Industry 4.0 are shown in figure 2.

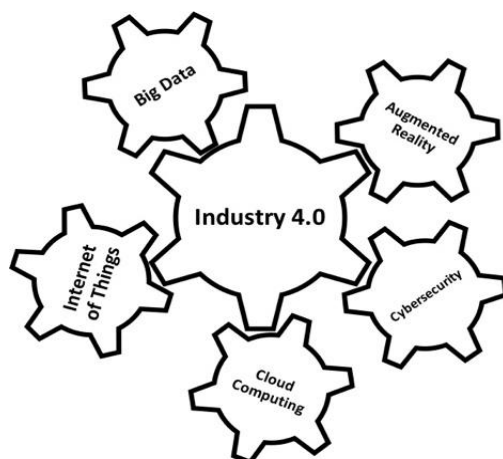


Figure 2. The components of industry 4.0

2.1. Cyber Physical Systems and Industry 4.0

The new process, referred to as Industry 4.0, has a structure that will completely change production and consumption relationships. Industry 4.0 includes systems in which sensors, machines and robots communicate with each other over the internet, simultaneously collecting massive amounts of real-time information and storing them using cloud-based technology. These systems, which are connected via the internet and stored using cloud technology, are called Cyber Physical Systems. These systems, supported by sensors, involve the interaction of objects in the physical world with their internet services and global interaction [4]. The concept is derived from the scientific discipline known as “cyber”, which is the subject of research on the communication and control of living beings and machines. In the 1970s the concept of “cyberspace” was often used to describe control processes based on information technologies, computers and the Internet [5]. The concept of cyber physical systems was first used by Lee in the US in 2006 to emphasize the growing importance of computer systems linked to the physical world. Cyber physical systems include mechatronic components equipped with sensors that collected data about business movements affecting physical processes. Cyber physical systems are intelligent systems in which ever-changing data are simultaneously linked together in a virtual cloud system. As part of the socio-technical system, cyber systems use a humanistic machine interface for the production process [6]. Industrial automation systems describe computerized manufacturing processes that enable physical production processes to be managed through a monitor. The cyber part of the system consists of computer software that takes data from physical processes and adapts this data to the production process [7]. Cyber physical systems are one of the key components of Industry 4.0. Collectively, the technologies enable continuous communication and allow a ceaseless trade of information and interaction between people and machines, and between machines themselves. The main component of the cyber physical system is the ‘Embedded Device’. An embedded device consists of hardware and software integrated into a mechanical or electrical system (or object) that is designed for some purpose [8]. A cyber physical system is a collection of these embedded devices that communicate with one another and interact with the physical world via sensors and actuators in a feedback loop. The cyber physical system leads to a more ubiquitous use of computing capability, and embedded devices can be included in almost every engineered product. The efficient use of cyber physical systems with high functionality enables rapid growth of Industry 4.0. Industry 4.0 aims to work independently of time and space and also at optimum efficiency. Cyber physical systems that serve this discipline are seen as an effective aid to it. As a result of the integration of cyber physical systems with production, logistics and services, it will be possible for

today's factories to be transformed by Industry 4.0 into factories with significant added economic potential.

2.2. Internet of Things and Industry 4.0

The communication and interaction that the components of production establish with each other is provided through the internet. The Internet of Things (IoT) is where objects can communicate with each other. The concept of the Internet of Things (IoT) used by Kopetz (2011) explains how data can be collected, duplicated and organized from different sources in a workplace or factory. The Internet of Things offers an interconnected data management that speeds up process controls. This platform effectively uses big data to transform the knowledge of the cyber physical system actions. The changing data has the potential to create value in different layers of the business channel chain [9]. The IoT is a special case of the cyber physical system where the medium of network communication is the internet. The term 'Thing' refers to scenarios where network connectivity and computing capability extends to objects (things), sensors and everyday items not normally considered computers. The 'Things' generate, exchange and consume data with minimal human intervention. Such objects are equipped with ubiquitous intelligence and form a highly distributed and heterogeneous network. Because the communication medium is the internet, the objects are not confined to a restricted geographical area but could exist, in principle, anywhere. Through the IoT, the network could include globally distributed manufacturing sites and the supplier base. Developments in Industry 4.0 are now having an impact on the manufacturing industry. The Internet of Things (IOT), also called the industrial internet, forms the basis of smart factories, intelligent products and intelligent services [10]. The concept of the Internet of Things includes systems that perform the functions of decision making, communication, management and movement with the aid of sensors located on various systems. Such systems not only work on their own networks but also communicate with other electronic networks. A device shares business and services on its network with other networks and follows requests and news from other networks. It is expected that the ability to make decisions, manage and act on such transactions should be according to certain rules. On the one hand, the production systems that adapt to the changing needs of the consumer on the fly and on the other side depicts the characteristic structure of the new era where automation systems are in constant communication and coordination with each other.

2.3. Big Data, Cloud Systems and Industry 4.0

The main vision for Industry 4.0 is the emergence of "smart factories" that will be connected to the production facilities of cyber physical systems, using machine-machine, human-machine or human-human communications, and at the same time use an enormous amount of data obtained via Industry 4.0. For this reason, it will be necessary to analyze big data to be

able to predict possible failures and adapt in real time to changing conditions. The philosophy of Industry 4.0 requires communication between industrial vehicles. This communication, which takes place via the internet, requires very large and traditional servers. This problem increases the importance of research on big data technology, which involves controlling and directing systems [11]. New developments in cloud technology have changed the way manufacturers and their consumers think. Cloud systems and big data have led to radical changes in the basic structure of business and application models, and now it is one of the most popular concepts of this age. Improvements in computer and memory systems have made it possible to collect and store data in very large amounts. The cyber physical systems and the Internet of Things make it possible to transfer data to physical systems that reach enormous dimensions. Big data systems decrease the need for servers to be kept by companies and provide access to the information needed for production. Together with that, big data systems enable the public nature of information to be more visible, thereby providing a number of cost advantages for companies, while also affording a lower price advantage for consumers. With the help of cloud systems, Industry 4.0 has the potential for placing the factory right at the heart of a highly distributed network of customers, retailers, suppliers and any other interested stakeholders.

2.4. Cyber Security and Industry 4.0

The products produced with the Industry 4.0 system are smart products. Based on connectivity, information exchange and computing power, the main idea behind smart products is that they control the production process themselves. The fact that big data systems are open to internet access makes the point of cyber security for these platforms a very important topic. Cyber security is protecting virtual systems against all kinds of attacks and threats. Cyber security also determines the security risks and weaknesses in cyberspace, institutions, organizations and users from undesired threats and takes precautions by making necessary security analyses. The main purpose of cyber security is to protect the confidentiality of the information processed, stored and transferred in the information systems, the integrity of the data, the information access, the protection of the speed and quality, and the continuity of the system. The interconnected nature of Industry 4.0-driven operations and the pace of digital transformation mean that cyber-attacks can have far more extensive effects than ever before, and the reality is that manufacturers and their supply networks may not be prepared for these risks. For efficient operation of Industry 4.0 in all areas, the cyber security rationale must be regularly refreshed, flexible and practical.

2.5. Virtual Reality and Industry 4.0

Monitoring of actual processes and machines takes place in the physical world. In Industry 4.0, these

processes may be linked to virtual models or models created through simulation. Industrial engineers and designers can then customize, change and test changes or upgrades in a completely isolated way without affecting the physical processes they virtualize. Manufacturers involved in Industry 4.0 installations can create a “virtual twin” of the smart factory to greatly improve existing processes and products, and reduce the time needed for product development and modelling, create a manufacturing process, and thus reduce the cost of new products. Before the advent of Industry 4.0, if it was desired to test whether a production process was working efficiently and effectively, trial and error was required. In Industry 4.0 systems, a digital twin of the production process can be created by simulation modelling and testing using virtual reality, and so, product quality as well as production can be controlled by the digital twin version.

III. FINDINGS

The effects of the Industry 4.0 revolution we are living through will determine the level of competencies in every area up to strategic goals. Therefore, academic studies have been carried out in many fields from science to law, from industry to economics in recent years. In addition to the many advantages that Industry 4.0 brings, and will bring in, some of the disadvantages should be mentioned. As known, occupational health and safety (OHS) is a set of processes aimed at reducing all the problems related to employees to the minimum possible level. Being healthy is defined as being physically, spiritually and socially complete, so it can be said that when all these states of well-being exist together, one is fully healthy. Physical health means no illness, disability, or having a disease risk factor in the body; mental health means knowing how to act according to the age and situation of the person, and social health means that the person creates a language that is understandable within the environment they live in and performs a role in society according to the needs of the society in which they live. A deterioration in any of these areas will lead to disruptions and imbalances in the other aspects. This indicates that the factors that make up health are not completely independent from each other, but tend to act as a whole. OHS is a multidisciplinary field that takes proactive measures against work accidents and occupational diseases, informs employees, organizes training, conducts risk assessments and carries out activities to regulate the working life to the extent required by labour laws. OHS, like all other fields of study, is affected by developments in technology, and the innovations brought by Industry 4.0 have the opportunity to be applied to OHS. Therefore, it will probably be necessary to interpret OHS from a new perspective. Leso V et al studied in their paper to provide a comprehensive overview of the opportunities and problematical aspects of Industry 4.0 in relation to the health and safety of workers [12]. Thanks to the integration of the basic building blocks of the OHS 4.0

digital transformation process into the field of occupational health and safety, it is interpreted as a new trend aimed at proactively protecting the health and safety of employees by maximizing human and machine compliance with safety procedures.

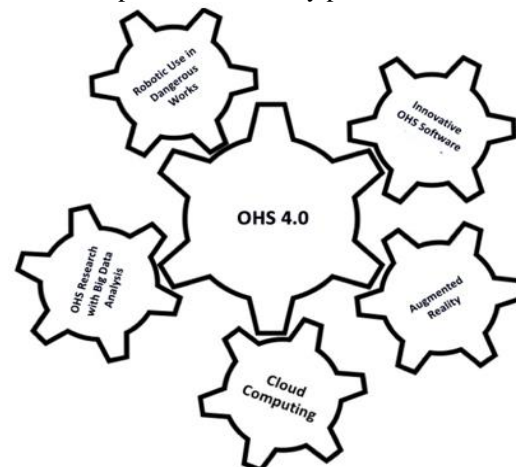


Figure 3. The components of OHS 4.0

This trend finds a response in business life, and the way of doing business also changes in the field of OHS. For example, the Internet of Things (IoT) technology has started to be used, for personnel tracking especially, in the field of OHS. It is thanks to this technological development that personnel follow-up in mining for coal is possible and access to facilities such as location detection at the time of an accident can be achieved. Another example of OHS 4.0 study is in virtual and augmented reality applications. It is possible to transfer many activities such as working at height, fire training and case analysis to employees with virtual and augmented reality applications, and to achieve better performance than the classical method. The components of Industry 4.0 that are used for OHS are shown in figure 3. With these technologies being integrated into our lives more and more every day, an innovative period has started in OHS training, and simulation technologies, including time, space, equipment etc., help eliminate many constraints. It has also been stated by employees that the permanence and quality of the training has increased.

New technological developments are needed in order to overcome the difficulties encountered with OHS in order to decrease the cost and to increase the security. Therefore, it is very important to use the innovative technologies that Industry 4.0 can bring to deliver effective OHS applications to business life. When it comes to OHS, the rhetoric such as “wear your hard hat” and “wear your gloves” are now replaced by completely different concepts, and the perspective of OHS practices change. To achieve this, a multidisciplinary approach needs to be adopted including on the expertise of a team comprising engineers, IT experts, psychologists, ergonomists, social and occupational scientists, medical practitioners, and designers [13]. It is relatively easy to

ensure the safety of workers in traditional production environments where a uniform product is manufactured. Safe working environments can be created thanks to the planned improvement works related to the risks identified through a risk assessment and trained employees with the necessary competence. If the correct procedures are prepared and implemented, hazards will be minimized and existing risks for the safety of employees will be eliminated. However, there are potentially many different and complex challenges in a production environment operating in a hybrid system. While reconstructing production areas in a short time, rapid changes in the tools and even the physical movement of the equipment can pose a number of security issues that may require a separate risk assessment for each of the configurations to meet potential requirements. In addition, systems that will ensure the security of processes, employees and data will need to be installed. Thanks to the systems developed with Industry 4.0, data can be collected in real time and then used in a timely manner without potential danger arising. When a number of devices are installed in the equipment that can detect and report the behavior of the operator, this device can be used to determine the quality of the air in the environment, the weight of the load being lifted, the working angle of the equipment, the noise in the environment, etc. It can specify the parameters that may work and pose a risk for the process. In this way, data related to the physical and biological properties of the operator and the environment are obtained during the study and these data are analyzed and evaluated. When acceptable limits are exceeded, the activity is stopped by giving a warning [14]. Innovations such as moving most of the training to virtual environments, simulating the events with different scenarios, producing in-house applications and making them available on mobile phones are considered as contributions of Industry 4.0 to OHS. Using big data technologies for OHS and trying to identify the risks with the data sets becomes more popular day by day. Industry 4.0 means a real-time interaction between humans, machines and products for developing smart production models where the products are specialized via digitalization for maximum flexibility. Industry 4.0, with human-computer interaction, also aims to provide production with exact punctuality, minimum costs and maximum efficiency. It is considered that repetitive tasks performed by robots will allow human resources to be allocated to more appropriate tasks and reduce occupational accidents to a minimum, especially in domains where the accident risk is high when machines and humans work together. The Industry 4.0 components, cyber physical systems and robots provide opportunities for reducing occupational accidents and accident risks. There are several examples on this subject. The “Risk Seizure in Virtual Environment” application of Tofaş Turkish Automobile Inc. requires the employees to enter a virtual auto-paint section with augmented-reality glasses and detect the risks in the

environment. The risks the employee detects in the environment gain points for the employee, and after this process they get a certificate. Anatolian ISUZU Inc. operates the application programs Ergonomics Measurement Area and Ergonomics Central. OHS experts and also physiotherapists carry out duties here. With the application that Beyçelik Gestamp Automotive Inc. put into practice, an electronic sensor is placed in every working cell, and in case that the employee enters the wrong cell – by using a transmitter required for every employee – the process in the cell is forced to stop. A firm called BSH has realized a first in the world with the “smart ramp” application. In this ramp safety application, there is a safety mat in the area where the car approaches that senses living beings and tire-stabilizing barriers appear if there are any living beings are nearby, so the car is prevented from moving backwards or forwards. Furthermore, there is a moving ramp latch extending from the depot to the vehicle, so forklift trucks can carry weights right into the vehicle. Finally, there are lights that the vehicle can see on large screens; the red light signals the vehicle not to move, the green light signals that the loading is complete, and the vehicle may move. HEMA INDUSTRIES Inc. developed software for preventing problems such as musculoskeletal disorders, objects being dropped onto feet, and hands being squashed, during apparatus replacement. With this software, the worker enters the information for the desired apparatus into the screen. The robot brings the apparatus defined in the system to the worker and performs the replacement. ARÇELİK Inc. brought the Ergomatik application into operation to avert all repetitive actions and prevent ergonomic discomforts. With this application, heavily repetitive actions in a shift or a day are calculated, and all manual processes are cancelled. For example, during the production of an air conditioner, the silicon spraying process is repeated 800 times a shift, the body labeling, stenciling and drying processes are repeated 10000 times a day. Palm top power is used 2000 times a day and musculoskeletal disorders occur due to repetitive hand-wrist movements. With the application the firm put into practice, all these processes are now beginning to be handled by robots. A decrease in work accidents and occupational illness notifications has been observed. Examples such as BORUSAN LOGISTICS Inc.’s education of employees regarding working-at-high-altitudes via augmented reality, TURKCELL Inc.’s mobile application regarding OHS education being available on all the employees’ cell phones and tracking their education using this application are the points where Industry 4.0 and OHS converge. Updated software and virtual reality applications preferred in management systems are other examples of applications in the OHS domain. Management systems and software such as Iova, Akare and Qdms are used more and more by the day in the OHS domain so that reporting procedures are facilitated [15]. Some application examples of Industry 4.0 that are used for OHS are shown in table 1.

Table 1. Some application examples of industry 4.0 used for OHS

Program/ Application Name	Usage	Purpose	Users
Besafe	Within Company	All reports regarding OHS * Monthly statistics (man hours, education hours) * Accident and close-encounter reports * Dangerous situations, acts and goods operation notifications * Fuel consumption * Managers monthly OHS-Environment report * Pandemia statistics tracking	All Functional Managers
SAP	Within Company	Annual environment report	OHS-Environment Manager
VR (Virtual Reality)	Within Company	A virtual reality program in which 5 deadly risks in pavement construction work are simulated	All Employees
Workplace	Within Company	Medical report tracking of employees	OHS-Environment Unit
Envepo	Within Company	Equipment tracking application (Machine control list, maintenance and malfunction tracking)	Machine Equipment Unit and OHS-Environment Unit
Teams	Within Company	Sharing program for communications, meeting, and all documents within company	All Managers
Bluejeans	Within Company	International education, seminar and meeting program	All Managers
Driver Risk Management	Within Company	A program measuring driver's risk levels and giving education towards enhancing their risk perception	All Drivers
Wranx	Within Company	A program which educates managers in construction tasks, provides education in every subject, conducts tests, awards badges to people according to level of achievement, and shows OHS education success stats	All Managers
Risk Seizure in Virtual Environment	Within Company	Risk identification program in virtual auto-paint section environment	All Employees
Ergonomics Central	Within Company	A unit which determines ergonomic measurements and conducts treatment and rehabilitation studies with regard to occupational illnesses	All Employees
Electronic Sensors	Within Company	Transmitter preventing worker entering working cell	All Employees
Smart Ramp	Within Company	Safety mat, tire-stabilizing barriers, ramp latch	All Employees
Workpiece Replacement Robot	Within Company	Software for preventing problems such as musculoskeletal disorders, items being dropped on feet and squashing of hands during workpiece replacement. With this software, the worker enters the information for the desired workpiece into the screen. The robot brings the workpiece defined in the system to the worker and performs the replacement.	All Employees
Ergomatik	Within Company	The Ergomatik application is used to avert all repetitive actions and prevent ergonomic discomfort. With this application, very repetitive actions in a shift or a day are calculated, and all manual processes are removed.	All Employees
VR (Virtual Reality)	Within Company	Giving work-at-high-altitudes education to employees via VR	All Employees
Mobile OHS Education Application	Within Company	OHS education tracking of employees	All Employees
IOVA, AKARE	Within Company	Management systems tracking	OHS Unit

IV. DISCUSSION

With the world transitioning to Industry 4.0, the management systems in factories are changing. Employees may work in factories or offices provided by the employer, as well as from a place outside the factory that is not provided by the employer. This change in working life can cause many potential problems in the field of OHS. First of all, the decrease in the number of employees in the factories, and the increase in the use of machinery requires changes in the measures to be taken by the employer in order to prevent occupational accidents. In terms of OHS, the decrease in the number of employees will reduce the number of workplace physicians – required by law – and also the time the workplace physician works will decrease. Industry 4.0 means less contact between workers and machines, which will reduce machine accident rates. Traditional production line workers and knowledge workers their tasks will merge more than ever. The processes will need various different new solution systems. This means management and production processes will become even more automated. Employees know where and when they do things, will be able to design their working lives themselves by calculating the access schedule. These social lives of time and value will be reflected. However, having continuous access to jobs also has the potential to create some psychological problems in the future. On the other hand, the increase in the number of people working in offices will increase the risk and rate of work accidents or occupational diseases in offices. The possibility of working from abroad will raise the problem of which country law to apply to any dispute. In remote management outside the factory, the employer must have informed the worker about occupational health and safety measures, provided the necessary training, supervised health and provided the necessary equipment, but when a worker operates remotely and works in a comfortable environment such as their own home, they are less likely to follow these instructions. In such a case, it will be difficult to prove that the accident occurred due to work. Changing the way of working will also change the existing OHS risk factors for employees. Among risk factors, the physical risk factors that are expected to remain important with Industry 4.0 include noise, vibration, lighting, thermal conditions, pressure and radiation will remain. However, more detailed OHS measures may be required for the protection of the eye health of workers regarding illumination. Industry 4.0 will decrease the rate at which the effect of microorganisms will be considered a biological risk factor of using machines in the production process. Increasing the number of machines in production sites may result in increased dust and gas density. Therefore, regulations regulating these chemical risk factors will need to be updated. In the Industry 4.0 system, it is estimated that the rate of psychosocial risk factors, such as precarious labour contracts, an aging workforce, job concentration, disruption of work and non-work life balance, group

bullying and time management, will increase. Ergonomic risk factors will become more prominent as the time work pattern will change for employees. In Industry 4.0, there is a principle of continuous operation in smart factories in order to get maximum efficiency in production. In order for the factories to work continuously, the employees must work in shifts. This situation will bring with it a disruption to work and non-work life balance for employees. In other words, the employee will not be able to keep to a fixed routine in the shift system. Non-standard employment, shift work, daily rhythm disturbance, and maybe the most important one, social disconnection, are the other problems that will occur. In addition, the use of information systems in production means the private life of the employee can be more intertwined with business life, and the distinction between private and work life will become blurred for the employee. The effect of this situation on the employee will manifest itself as a psychosocial risk factor. Kocaay studied possible effects of Industry 4.0 to work life and occupational health. In the paper author suggested that the employer should evaluate the aspects of new developments that will affect occupational health and safety, also he should follow the software changes made to machinery and equipment. Workers using these systems should also receive the necessary training [16]. In Industry 4.0 workers need to be open to many different new and special skills. Conventional production knowledge and habits need to be combined with software skills. These can be difficult for employees who are used to the current working order. Employees' motivation to new production systems and open to learning will be beneficial for them. They need to be more flexible and accept continuing education to collaborate more effectively. The most important issue that employers will encounter in this regard is the training of existing employees and the recruitment of new employees who are equipped to learn better.

VI. CONCLUSIONS

Technological developments have changed the content and diversity of problems in the OHS field. Technology plays a very important role at the point where industrial revolutions have come. Many new technologies such as Internet-enabled production tools, decision-making machines, robots, digital databases will support traditional production tools and will take their place over time. Expectations from employees will also change in the transition to Industry 4.0. However, this situation will also affect the social lives of the employees and cause new risks to emerge. Occupational health and safety measures to be taken by experts should be adapted to new standards and legislation should be updated to cover these issues. The components forming the core of the Industry 4.0 philosophy have been introduced and examples of good practices in the field of OHS have been examined in this paper. The aim of the present paper was to make the impact of Industry 4.0 on Occupational Health and

Safety more definable within a conceptual framework. The effects of Industry 4.0-based applications on OHS can be examined in more detail by comparing the before and after activities in future studies.

REFERENCES

- [1] Macit, İ (2017). Industry 4.0 Benefits of Enterprise Resource Planning: Proposal a Framework Model, *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 2(1), 50-60.
- [2] The European Commission's Industrial 4.0 Paradigm, Directorate General for Internal Policies, <http://www.europarl.europa.eu/>, (June 2020).
- [3] Geisberger, E and Broy, M. (2012). *Agenda CPS: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Springer-Verlag, 29-68.
- [4] Bradley, J.M. and Atkins, E.M. (2015). Optimization and control of cyber-physical vehicle systems, *Sensors*, 15(9), 23020-23049.
- [5] Hirsch-Kreinsen, H., (2014). Wandel von Produktionsarbeit -Industrie 4.0, 421,429.
- [6] Thramboulidis, K., (2015). A cyber-physical system-based approach for industrial automation systems, *Computers in Industry*, 72, 92-102.
- [7] Macha, U.S., Embedded linux operating system. Corpus ID: 38636247, 1,10.
- [8] Lee, J., Ardakani, H.D., Yang, S. and Bagheri, B. (2015). Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation, *Procedia CIRP*, 38, 3-7.
- [9] Kagermann, H., Lukas, W.D. and Wahlster, W. (2015). Abschotten ist keine alternative, *VDI Nachrichten. Technik-Wirtschaft-Gesellschaft*, no. 16.
- [10] Pan, M., Sikorski, J., Kastner, C.A., Akroyd, J., Mosbach, S., Lau, R. and Kraft, M. (2015). Applying industry 4.0 to the Jurong Island eco-industrial park, *Energy Procedia*, 75, 1536-1541.
- [11] Kocaay, F. (2019). Possible Effects of Industry 4.0 to Work Life, Occupational Health and Safety, *International Refereed Academic Journal of Sports, Health and Medical Sciences*, 31, 71-83.
- [12] Leso V, Fontana L, Iavicoli I. The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. *Med Lav*. 2018 Oct 29;110(5):327-338. doi: 10.23749/mdl.v110i5.7282. PMID: 30378585.
- [13] Polak-Sopinska A., Wisniewski Z., Walaszczyk A., Maczewska A., Sopinski P. (2020) Impact of Industry 4.0 on Occupational Health and Safety. In: Karwowski W., Trzcielinski S., Mrugalska B. (eds) *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 971. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20494-5_4.
- [14] Min, J., Kim, Y., Lee, S., Jang, T.W., Kim, I. and Song, J. (2019). The Fourth Industrial Revolution and Its Impact on Occupational Health and Safety, *Worker's Compensation and Labor Conditions, Safety and Health at Work*, 10, 400-408.
- [15] MESS OHS Competitions, <http://isgyarismalari.mess.org.tr/> (June, 2020)
- [16] Kocaay, F. (2019). Possible Effects of Industry 4.0 to Work Life, Occupational Health and Safety, *International Refereed Academic Journal of Sports, Health and Medical Sciences*, 31, 71-83.

Değer Akış Haritalama Yöntemi Kullanılarak Tekstil Sektöründe Yalın Üretim Uygulaması

Lean Manufacturing Implementation Using Value Stream Mapping and FMEA as Tools: A Case of Textile Industry

Sema BİLİCİ¹ , Fuat KOSANOĞLU² 

¹ Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 77200, Yalova Türkiye

² Yalova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 77200, Yalova Türkiye

Öz

Kurumlar her geçen gün zorlaşan piyasa koşullarında değer yaratabilmek ve hayatta kalabilmek için faaliyet gösterdikleri sektörlere göre yeni çözümler üretmelidirler. İhtiyaç duyulan iyileştirme çalışmalarının başlayabilmesi için problemlerin ortaya çıkış sebeplerinin tanımlanması gerekir. Değer akış haritalama (DAH), mevcut sistemin performansını ortaya koymak ve analiz etmek için veri toplanmasını içeren ve üretim sürecini planlamaya yönelik bir yalın üretim aracıdır. Bu çalışma, bir tekstil fabrikasında değer akış haritalama yöntemi kullanılarak belirlenen darboğazların yalın üretim uygulamalarıyla iyileştirme yapmayı amaçlamaktadır. Bunun için ilk olarak her bir istasyon incelenerek birçok problem tespit edilmiştir. Daha sonrasında Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi ile bulunan hatalar arasında değerlendirilme yapılmış olup en yüksek puana sahip olan üç hata mevcut durum üzerinde haritalandırılmıştır. Değer akışı yöntemi ile takt zamanlar ve çevrim zamanları ortaya çıkarıldıktan sonra firmanın rekabet gücünü artırmak için olası iyileştirmeler tartışılarak gelecek durum üzerinde tekrar HTEA yöntemi uygulanarak değerlendirilmede bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: yalın üretim, değer akış haritalama, hata türleri ve etkileri analizi

Abstract

Institutions face to introduce new solutions to create value and survive in difficult market conditions. In order to make improvements in the organization, first factors causing problems must be identified. Value stream mapping is a lean manufacturing tool to plan a production process that involves collection of data to capture current system performance and analysis. This work aims to identify processes that causes bottleneck in a textile company by utilizing value stream mapping (DAH), and improve those process by lean manufacturing methods. First, the current states map of the organization is presented to identify sources of waste and then possible improvements are discussed to increase its competitiveness. Then, the most important three problem in the production system are identified by failure mode effect analyses (HTEA). Cycle times and takt times are calculated for studied production process. Finally, possible improvements are discussed and future value stream map is presented.

Keywords: lean production, value stream mapping, failure mode effect analyses

I. GİRİŞ

Üretim süreci boyunca işletme kaynaklarının, verimli ve planlı bir şekilde yürütülerek, maliyet ve zaman tasarrufu ile birlikte karlılık elde etmek günümüz rekabetçi koşullarında son derece önemlidir. Üretim yönetimindeki amaç, bu rekabetçi ortamlarda üretim sürecindeki gerekli ve gereksiz işlerin birbirinden ayrılması, israflardan kaçınılması, mevcut değerleri yalın bir şekilde sunarak şirket karlılığını arttırmaktır.

Yanlış ürün ya da hizmetin doğru veya doğru ürünün zamanından önce üretilmesi sadece israf olarak değerlendirilmektedir. Yalın bakış açısında müşteriye değer katmayan her şey israf olarak nitelendirilmektedir. Taiichi Ohno (1988), israfı “kaynak tüketen fakat değer yaratmayan bir faaliyet” olarak tanımlamıştır. İsrafin ortadan kaldırılması ürünün tasarımından dağıtıma kadar pek çok süreçte üzerinde durulması gereken bir konudur. (Sang, Khairuzzaman, Abdul, Boon, & Yew 2013). Bu süreçte amaç israfın azaltılması ile müşteri taleplerini mümkün olduğunca en üst seviyede yerine getirmektir.

Bu bağlamda bu çalışmada kullanılan ilk yöntem olan DAH söz konusu ürün ailesinin geçtiği rotalar boyunca (hammaddenin geldiği tedarikçiden müşteriye) ürüne değer katan ve katmayan faaliyetlerin gösterilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin asıl amacı resmin bütününe bakmakla birlikte bütünü iyileştirmeye çalışmaktır. Diğer bir yöntem olan HTEA ise ürünün tasarımında, sürecinde veya hizmetinde meydana gelebilecek potansiyel hataları önceden belirlemek ve kalitesizliğin önüne geçerek sıfır hatayı hedefler.

Bu çalışmanın amacı, siparişe göre üretim yapan bir firmada yalın üretimin uygulanabilirliğinin incelenip, yapılabilecek bir takım çalışmalar sonucunda ne tür kazanımlar elde edilebileceğinin araştırılmasıdır. Çalışma, müşteri talebini karşılamakta zorluk çeken bir tekstil işletmesinde yapıldığından ana amaç toplam çevrim ve toplam akış süresinin düşürmek ve ara stokları daha dengeli bir yapıya getirmek olmuştur. Çalışma içerisinde Yalın Üretim tekniklerinden biri olan değer akış haritalama tekniği (DAH) ve hataların analizinde önlenmesinde kullanılan hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada ilk olarak bir proste DAH yöntemi ile üretim birimlerinin her biri için takt zaman ve çevrim zamanları belirlenmiştir. Daha sonrasında ise HTEA yöntemi ile hatalar analiz edilerek, hataların oluşumunu en aza indirmek hedeflenerek uygun noktalarda dengelenmiş üretim akışı tasarlanacak şekilde iyileştirmeler ve öneriler sunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan iyileştirme çalışmaları neticesinde deşe oranı %2.5 oranında azalırken, toplam akış süresi %48, toplam çevrim süresi ise %57'lik bir oranda azalmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde detaylı Yalın Üretim ve DAH ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler ve uygulama yapılan şirketle ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde mevcut ve gelecek durum haritalaması ile yapılan uygulama çalışması gösterilmiştir. Son bölümde gelecek durum RÖS değerleri, iyileştirmeler ve öneriler sunulmuştur.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde yalın üretimin ve VSM tekniğinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Gupta ve Brennan (1995), yaptıkları çalışmada ufak çaplı bir firmada JIT uygulanabilirliğini ölçmüş ve bu uygulamanın yapılabilmesi için sürekli akışın olması gerektiği sonucuna varmışlardır. Golicic ve Medland (2007), ABD'deki küçük bir firmadaki Yalın Üretim uygulamalarının üzerinde tedarik zinciri üyelerinin etkisini deneysel olarak açığa çıkarmıştır. Çalışma verileri göstermektedir ki, küçük firmalar müşterilerinin ve tedarikçilerinin üzerinde herhangi bir değişimde etkili değilse uygulanan Yalın Üretim'in kazancı da sınırlı olacaktır. Bamber ve Dale (2000), havacılık sektöründe faaliyet gösteren geleneksel üretim yapan bir firmada yalın üretim tekniklerinden biri olan kanban tekniği ile siparişe göre üretim yapıyor olmanın art ve eksi yönlerinden bahsetmiştir. Bonavia ve Marin (2006), bir seramik tuğla fabrikasında Yalın Üretim'in uygulanabilirliği konusunda çalışmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda bir takım Yalın Üretim

tekniklerinin kısıtlılığı kaldığını ve bunların standartlaştırılması gerektiği savunulmuştur. Crawford ve Blackstone (1988), yaptığı ankette yalın üretim uygulaması ve buna bağlı operasyonlara bağlı problemleri açıklamayı hedeflemiştir. Anket sonucuna göre işletmeler için, çalışan ve teknik problemlerdir. Gahagan (2007), VSM tekniğini bir benzetim modeli ile birlikte kullanmıştır. Arena programında geliştirilen bir VSM şablonu ile haritalamadaki bulguları doğrularak ve değer akışındaki değişiklikleri deneyerek kazanımların belirginleştirilmesini sağlamıştır. Sedefoğlu ve Akman (2018), VSM tekniğini Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) metodu ile birlikte kullanarak verimsiz bir üretim hattı için iyileştirmeler sunarak bir aksiyon planı oluşturmuşlardır. Mohanraj ve Sakthivel (2011), Değer Akış Haritalama ve Kalite Yayılım Fonksiyonu yöntemlerini birlikte kullanarak atıkların bilimsel olarak açıklanması ve israfın engellenmesi amaçlamışlardır. Akçaoğlu (2012), Bayes İnanç Ağları (Bayesian Belief Network) modeli kullanarak VSM tekniğine bağlı olarak belirlenen darboğaz süreçlerin ve sürelerinin iyileştirilmesinde çözüm önerileri sunmuştur. Vinoth ve Raghuraman (2013), üretim hattındaki atık ve katma değeri olmayan işleri analiz ederek performansı iyileştirmek için gerekli eylem planlarını VSM ve Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) yöntemiyle oluşturmuştur. Emiliani ve Stec (2004), VSM ile liderlik üzerine çalışarak inanç, davranış ve rekabet konuları üzerinde durmuştur. Efe ve Engin (2012), VSM yöntemini kullanarak ultrason, tomografi, röntgen, laboratuvar sırasında bekleyen hasta grubu için bekleme süresini azaltıcı öneriler sunmuştur. Maraşlı, Akça ve Kama (2016), Yalın Üretim ilkeleri ışığında yaptıkları çalışmada bir dondurma üretim işletmesinde kalıp değişim sürelerini ve stok seviyelerini düşürerek ortaya çıkan yeni kalıp değişim süreleri gelecek durum haritasında göstermiştir. Ramesh ve Kodali (2012), VSM ile AHP yöntemlerini bir arada kullanarak israf türlerini belirlemek için bir karar sistemi kurmuşlardır. Agus ve Hajinoor (2012), üretim sektöründe 3 performans değişkeni olan ürün kalitesi performansı, yalın üretim performans ölçütü, işletme performansı ve alt boyutları arasındaki ilişkiyi gözlemlemiştir. Gurumurthy ve Kodali (2011), PVC ürün üreten bir firmada stok seviyeleri, çevrim süresi, işgücünün etkin kullanımı gibi performans ölçütleri ile iyileştirmeler ortaya koymuştur. Kaymaz ve Çavdur, (2018), yeniden işletme istasyonu ile çevrim süresini minimize etmeyi amaçlamıştır. Ömürgönülşen ve Çatman (2018), yaptığı çalışmada kamu kurumlarında kişilere daha iyi hizmet verilebilmesi için israfı en aza indirmeyi hedeflemişlerdir. Aşağıda verilen çizelge 1.1'de literatürdeki ilgili çalışmalar ve bu çalışmalar hakkında bilgiler özet olarak verilmiştir.

Tablo 1.1. Literatür araştırması ve ilgili çalışmalar hakkında özet bilgiler

Yıl	Yazar	Yöntem	Çalışmanın Faydaları
(1988)	Crawford ve Blackstone	Yalın Üretim	Yapılan ankette yalın üretim uygulaması ve buna bağlı operasyonlara bağlı problemleri açıklanmıştır
(1995)	Gupta ve Brennan	JIT	Ufak çaplı bir firmada JIT uygulanabilirliğini ölçmüş ve bu uygulamanın yapılabilmesi için sürekli akışın olması gerektiği sonucuna varılmıştır.
(2000)	Bamber ve Dale	Yalın Üretim Kanban	Havacılık sektöründe faaliyet gösteren geleneksel üretim yapan bir firmada yalın üretim tekniklerinden biri olan kanban tekniği ile sipariş göre üretim yapıyor olmanın art ve eksi yönlerinden bahsedilmiştir.
(2004)	Emiliani ve Stec	DAH	DAH ile liderlik üzerine çalışarak inanç, davranış ve rekabet konuları üzerinde durulmuştur.
(2006)	Bonavia ve Marin	Yalın Üretim	Yapılan çalışma sonucunda bir takım Yalın Üretim tekniklerinin kısıtlılığı kaldığını ve bunların standartlaştırılması gerektiği savunulmuştur.
(2007)	Gahagan	DAH	Arena programında geliştirilen bir DAH şablonu ile haritalamadaki bulguları doğrularak ve değer akışındaki değişiklikleri deneyerek kazanımların belirginleştirilmesi sağlanmıştır.
(2007)	Golicic ve Medland	Yalın Üretim	ABD'deki küçük bir firmadaki Yalın Üretim uygulamalarının üzerinde tedarik zinciri üyelerinin etkisi deneysel olarak açığa çıkarılmıştır.
(2011)	Mohanraj ve Sakthivel	Değer Akış Haritalama ve Kalite Yayılım Fonksiyonu	Atıkların bilimsel olarak açıklanması ve israfın engellenmesi amaçlanmıştır.
(2011)	Gurumurthy ve Kodali	Yalın Üretim	PVC ürün üreten bir firmada stok seviyeleri, çevrim süresi, işgücünün etkin kullanımı gibi performans ölçütleri ile iyileştirmeler ortaya koyulmuştur.
(2012)	Ramesh ve Kodali	DAH ve AHP	İsraf türlerini belirlemek için bir karar sistemi kurulmuştur.
(2012)	Agus ve Hajinoor	Yalın Üretim	Üretim sektöründe 3 performans değişkeni olan ürün kalitesi performansı, yalın üretim performans ölçütü, işletme performansı ve alt boyutları arasındaki ilişkiyi gözlemlenmiştir.
(2012)	Efe ve Engin	Yalın Üretim	Ultrason, tomografi, röntgen, laboratuvar sırasında bekleyen hasta grubu için bekleme süresini azaltıcı öneriler sunulmuştur.
(2012)	Akçaoğlu	Bayes İnanç Ağları ve AHP	Belirlenen darboğaz süreçlerin ve sürelerinin iyileştirilmesinde çözüm önerileri sunulmuştur.
(2013)	Vinoth ve Raghuraman	DAH ve HTEA	Üretim hattındaki atık ve katma değeri olmayan işleri analiz ederek performansı iyileştirmek için gerekli eylem planları oluşturulmuştur.
(2016)	Maraşlı, Akça ve Kama	Yalın Üretim	Bir dondurma üretim işletmesinde kalıp değişim sürelerini ve stok seviyelerini düşürülerek ortaya çıkan yeni kalıp değişim süreleri gelecek durum haritasında gösterilmiştir.
(2018)	Sedefoğlu ve Akman	DAH ve AHP	Verimsiz bir üretim hattı için iyileştirmeler sunularak bir aksiyon planı oluşturulmuştur.
(2018)	Kaymaz ve Çavdur	Yeniden İşleme İstasyonu	Bir işletmede çevrim süresini minimum seviyeye düşürmeyi amaçlanmıştır.
(2018)	Ömürgönülşen ve Çatman	DAH	Kamu sektöründe kişilere daha iyi hizmet verebilmek için israf unsurlarını en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada ise iplik üreten bir tekstil fabrikasında değer akışı haritalandırma yönteminin ve hata türleri ve etkileri analiz yönteminin entegre kullanıldığı bir yalın üretime geçiş uygulaması yapılmıştır. Yalın üretim tekniklerinden biri olan DAH ve toplam kalite yönetiminin bir parçası olan HTEA birlikte kullanılarak öneriler sunulurken işletmenin çevrim süresinin azaltılması, stok miktarının düşürülmesi, karşılaşılan problemlerin etkilerinin en aza düşürülmesi hedeflenmiştir.

III. METODOLOJİ

3.1. Değer Akış Haritalama

Girdileri (hammadde, enerji ,işgücü) çıktılara (ürüne ve/veya hizmete) dönüştüren süreçte çok sayıda faaliyet vardır. Bu faaliyetler arasında nihai ürüne değer katanların yanında değer katmayanlar da vardır. Yalın üretim tekniklerinden biri olan değer akışı haritalama metodu (Value Stream Mapping) nihai ürüne değer katmayan adımları gösteren bir harita sunmaktadır. Değer akış haritalama yöntemi, prosesleri tek tek iyileştirmek yerine sistemin bütünü iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem ile fazla elleçlemenin ortadan kaldırılması, kaynakların etkin biçimde kullanılması, hammaddenin zamanında ürüne dönüştürülmesi, teslim sürelerinin kısaltılması, maliyetlerin azaltılması ve işletmeye bu sayede kârlılığın artırılması amaçlanmaktadır.

Değer akışı haritalandırma ile ortaya konulmak istenen; tasarımdan sevkiyata ürünün prosesinin izlenerek malzeme ve bilgi akışında yer alan her aşamanın sembolize edilmesidir. Daha sonraki aşamada gerekli anahtar sorular sorularak akışın nasıl olması gerektiğini gösteren 'gelecek durum haritası' çizilecektir. Çalışma için ürün ailesinin seçilmesi, mevcut durumun analiz edilmesi ve gerekli iyileştirmeler düşünülerek gelecek durumun tasarlanması ve buna bağlı faaliyet planının hazırlanması, değer akışı haritalandırmanın temel adımlarını oluşturmaktadır (Birgün, Gülen, & Özkan, 2006).



Şekil 3.1. Değer akış haritalama süreci.

Değer akışı bakış açısında amaç, yalnızca süreçler üzerinde değil büyük resim üzerinde çalışmak ve sadece parçaları değil bütünü iyileştirmektir. Burada önemli olan nokta, değer oluşturan akışı yakalamaktır (Rother & Shook, 1999).

3.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Hata türü ve etkileri analizi yöntemi, olası hata ve başarısızlık türlerini kaynağında yok etmeyi amaçlayan ve ilk defa ABD ordusunda kullanılan etkili bir toplam kalite yönetimi tekniğidir. Uygulama kolaylığı ve her sektörde kullanılabilmesi sebebiyle HTEA yöntemi, diğer kalite tekniklerine göre oldukça yararlı bir yöntemdir.

HTEA aşağıda listelenen bir grup faaliyetler içermektedir:

- Bir ürün veya hizmetin oluşum sürecindeki hata/başarısızlık türlerinin değerlendirilmesi,
- Söz konusu hata/başarısızlığın potansiyel sebeplerinin belirlenmesi,
- Olasılık, şiddet ve fark edilebilirliğe bağlı olarak hataların önceliğini ortaya çıkarılması,
- Sorunların izlenmesi ve düzeltici faaliyetlerin yapılması.

Olası durumda olan her hatanın risk esasına bağlı kritiklik durumuna bakılır. Hataların kritiklik durumunu ölçen ölçüt RÖS (Risk Öncelik Sayısı) olarak adlandırılır.

$$RÖS=P(\text{Oluşma Olasılığı}) \times S(\text{Şiddet}) \times D(\text{Fark Edilebilirlik})$$

RÖS'ün en büyük değeri en etkin hatayı gösterir. Bu durumda RÖS katsayısının en büyük olduğu değerden başlanır. Dolayısıyla RÖS katsayısı HTEA kullanımında belirleyici bir özellik taşımaktadır (Akın, 1998).

3.3. Balık Kılıcı Diyagramı

Tüm hataların potansiyel nedenleri kısmında, her bir hata türü için tespit edilen tüm muhtemel nedenler belirlenmelidir. Hataların nedenlerinin tespit yöntemlerinden biri de balık kılıcı diyagramıdır. Yöntem, hataların kaynaklarını tespit edebilmek amacıyla ana kategorilere ayrılarak oluşturulur. Yöntemin amacı ürün tasarımı ve kalite hatalarının en aza indirilmesidir.

Balık kılıcı diyagramı oluşturulurken metod, insan, makine, ölçüm ve çevrenin neden olduğu kısıtlar göz önüne alınmaktadır. Bu kategoriler göz önüne alınarak problemlerin ana nedenleri hakkında beyin fırtınası yapılır.

3.4. Materyal

Bu çalışmada, 1200'ün üzerinde çalışanı ve 2 üretim tesisi bulunan, yaklaşık 60 ülkeye el örgü ipliği üreten bir tekstil işletmesinin müşteri memnuniyetini arttırmak ve üretim süreçlerini iyileştirmek için üretim alanında yaşanan sorunlara çözümler sunulması amaçlanmıştır. İşletmede hazırlama, ring, fantezi, kukalama, boyahane ve swa baskı gibi birçok önemli proses bulunmaktadır. Firma bünyesinde üretilen ürünlere ait ürün tasarımı ve dizaynı hem firmaya hem de müşteriye ait olabilmektedir.

Bu çalışmada, değer akışı haritalandırma yönteminin ve hata türleri ve etkileri analiz yönteminin entegre

kullanıldığı bir yalın üretime geçiş uygulaması yapılmıştır. Yalın üretim tekniklerinden biri olan DAH ve toplam kalite yönetiminin bir parçası olan HTEA ile öneriler sunulurken işletmenin çevrim süresinin azaltılması, stok miktarının düşürülmesi, karşılaşılan problemlerin etkilerinin en aza düşürülmesi hedeflenmiştir.

3.5. Metot

Üretim hattındaki sıklıkla karşılaşılan belli başlı bazı hataların sebeplerini ve etkilerini belirleyerek problemlerin detaylandırılması ve çözüm önerilerinin sunulması hedeflenmiştir. Bunun için öncelikle hataların meydana geldiği sürecin iyileştirilmesi için değer akış haritalama (DAH) tekniği kullanılmıştır. Daha sonrasında problemleri önceliklendirmek adına, üretilen ürün için hammaddenin tedarikinden final ürünün müşteriye sevkiyatına kadarki tüm prosesleri kapsayacak şekilde hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) tekniği kullanılmıştır.



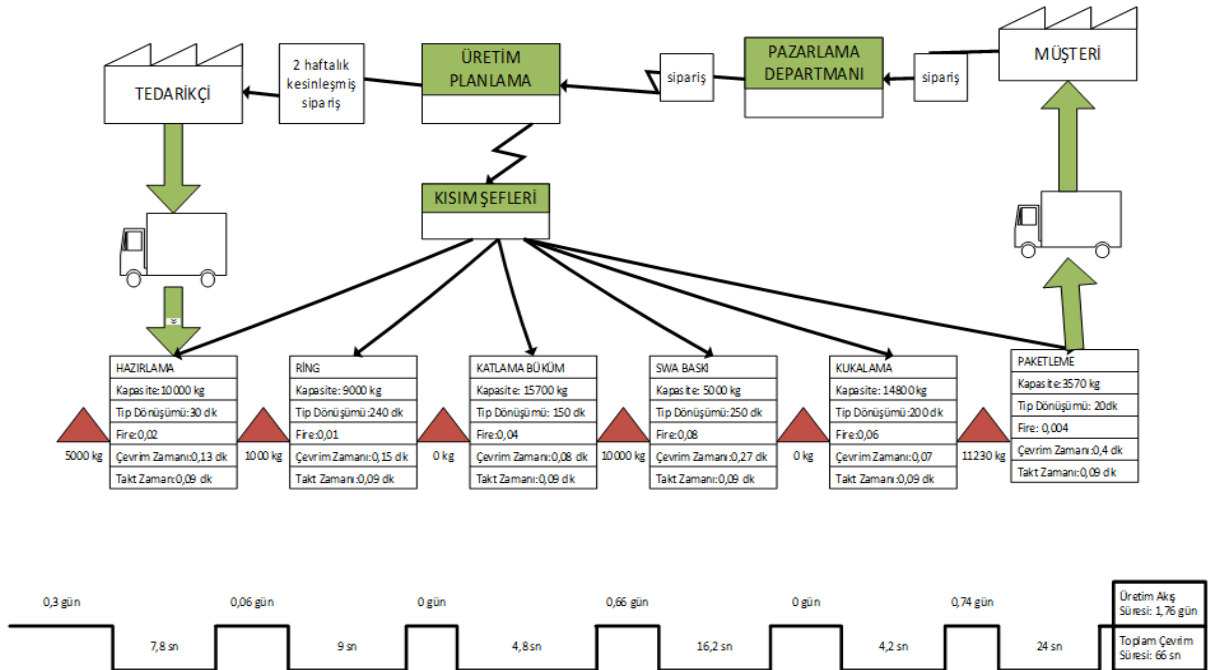
Şekil 3.2. Çalışmanın metodolojisi.

IV. UYGULAMA

4.1. Mevcut Durum Analizi

Mevcut durumda 15 tonluk bir sipariş için takt time, çevrim süreleri ve ara stoklar Şekil 4.1'deki gibi haritalandırılmıştır.

Süreç, müşteriden gelen sipariş için pazarlama departmanından bildirilen sipariş miktarlarına göre üretim planlama departmanının gerekli hammaddeyi tedarikçiye bildirmesi ile başlar. Seçilen proses için gerekli hammadde akriliktir ve bu hammadde talebi her ay yalnızca iki kez yapılabilmektedir. 6 hafta ile 10 hafta arasında değişen hammadde gelişi ile proses, hazırlama departmanı ile başlar. Devamında seçilen ürün ailesinin tipine göre, iplik üretimiminin diğer adımları olan ring, katlama büküm, swa baskı ve kukalama departmanlarında devam ederek ambarda paketlenir ve müşteriye sevk edilir. Söz kalite için müşteri talebi doğrultusunda üretilen her bir rengin bir paket içinde olması gerekmektedir. Bu işleme asortileme adı verilmektedir. Bu kısıt da kukalama ve paketlenme arasında bazen kontrolsüz bir ara stok durumuna bazen de atıl kapasite durumu oluşturabilmektedir. Her bir departmanın çevrim süresi, çalışan ve makine kapasitesinden dolayı farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak sürecin her bölümünde, ara stoklar veya üretilen siparişin ürün bütünlüğüne göre değişkenlik gösteren kapasite dengesizliği oluşabilmektedir. Seçilen ürün ailesine ait sipariş 15 ton olup 40 gr düz kuka şeklindedir. İçeriği %100 akriliktir ve tüm üretim aşamaları fabrika bünyesinde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca her bir kuka üzerinde ve her bir koli üzerinde müşteri isteğine göre ürünle ilgili etiketler yapıştırılmaktadır.

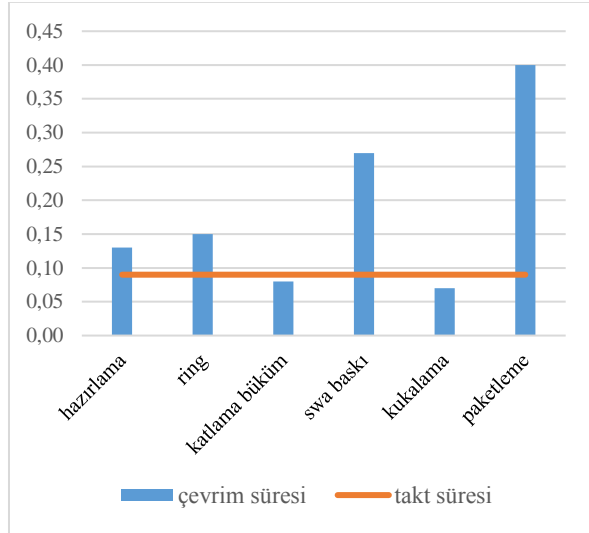


Şekil 4.1. Mevcut durum haritası.

Hammaddenin üretime hazır olduğu düşünüldüğünde toplam akış süresi 1,76 gün olup, toplam çevrim süresi ise 66 sn'dir. Toplam çevrim süresi her bir iş istasyonunun çevrim süreleri toplamından oluşurken toplam akış süresi ara stokların proses öncesi ne kadar beklediğinin toplamını da alır. Yalın üretimin en temel amacı, gerekli parçaların gereken miktarlarda ve gerektiği zamanda üretilmesidir. Bu prensibi yerine getirebilmek için takt zamanının bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda amaç çevrim süresi ve takt zamanının olabildiğince yakın olmasını sağlamaktır.

Şekil 4.1'de görüldüğü üzere bu işletmede takt süresi 0,09 dk'dır. Diğer bir deyişle müşteri 0,09 dakikada 1 kg ürün talep etmektedir.

Mevcut durum haritası, her bölümün çevrim süresi ile takt süresi arasındaki farkın çok fazla olduğunu göstermektedir. Bu durumda Şekil 4.2 'de görüldüğü gibi, bazı bölümlerde ara stok varken bazı bölümlerde atıl kapasite mevcuttur.



Şekil 4.2. Mevcut durum çevrim süresi grafiği.

Mevcut duruma ve yapılan HTEA çalışmasına bakıldığında, kukalama işleminin çevrim süresi takt süresine daha yakinken paketleme işleminin çevrim süresi takt süresine oldukça uzaktır. Bu durum iki bölüm arasında kontrolsüz bir ara stok durumu oluşturmaktadır. Müşteriden gelen siparişler doğrultusunda açılan hammadde talepleri tedarikçinin üretim durumuna göre 6-10 hafta gibi uzun bir sürede gelmektedir. Bu doğrultuda siparişin teslim süresinde problem yaşanmaktadır. Ayrıca makinelerden istenilen verim alınamamasının sebebi zayıf bakım planlamasından kaynaklandığı görülmüştür. Elverişli olmayan parçalar, çeşitli araç gereçler veya zarar görmüş makine parçaları, tip dönüşüm, takım değişimi

ve hazırlık süresilerinin uzamasına sebebiyet verebilmektedir.

4.2. Problemin Tanımı ve RÖS Değerlerinin Hesaplanması

Çalışmanın yapıldığı firmada gerçekleştirilen HTEA uygulaması temel olarak 3 aşamadan oluşmaktadır.

- Proseste meydana gelen hataların ve nedenlerinin belirlenmesi,
- Olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerlerinin atanması ve risk öncelik katsayısının (RÖS) hesaplanması,
- Hataların RÖS değerine göre sıralanması ve önlemlerin saptanması.

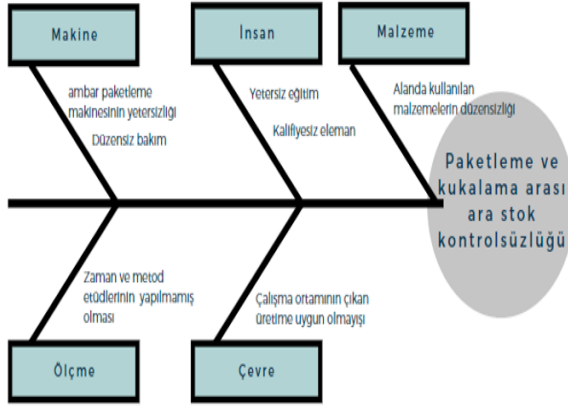
HTEA yönteminde çoğunlukla bir kişi süreçten sorumlu olsa da, bu yöntem farklı uzmanlık alanlarından gelen ve farklı fikirlere sahip kişilere ihtiyaç duyar. Sistemde oluşabilecek potansiyel hatalar belirlenirken kullanılan en yaygın yöntem beyin fırtınası tekniğidir. Yapılan düzenli toplantılarda her ekip üyesi fikrini beyan ettikten sonra grup üyelerinin fikirleri gruplanarak belirli başlık altında toplanır.

Bu çalışmada mevcut durumda görüleceği üzere iyileştirilecek proses için 3 tane endüstri mühendisi, 1 tane mekatronik mühendisi ve 1 tane tekstil mühendisi olmak üzere 5 kişilik ekip kurulmuştur. Kurulan ekip ihtiyacı olan bilgileri kalite, üretim, pazarlama, lojistik departmanlarındaki uzmanlar ve müşterilerden toplayarak karşılaşılan en büyük 6 probleme rastlamışlardır. Söz konusu 6 problem tespit edilirken yapılan toplantıların, ekip üyelerinin sorumluluklarının ve rollerinin bilincinde olmuş olması büyük önem taşımaktadır.

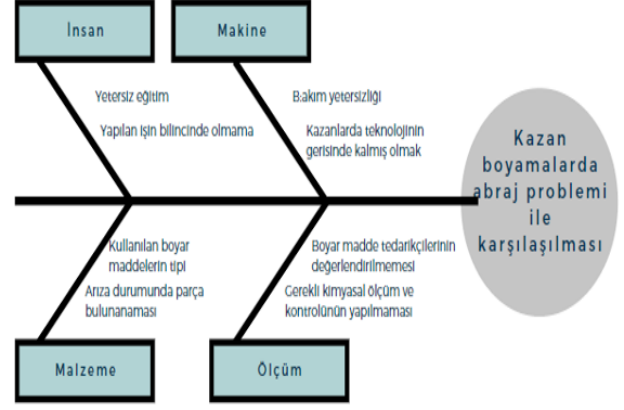
HTEA ekibi, belirlediği her bir hata türüne istinaden, olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerleri için belirlediği 1-10 arası bir değer vermiştir.

Ekip üyeleri tarafından olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik değerleri belirlenen hatalar kritiklik derecesine göre Çizelge 5.1 'de sıralanmıştır. Söz konusu HTEA çalışması üretilen tüm ürünler için hammaddenin tedarik edilmesinden final ürünün müşteriye sevkine kadarki tüm prosesleri ele alacak şekilde yapılmıştır.

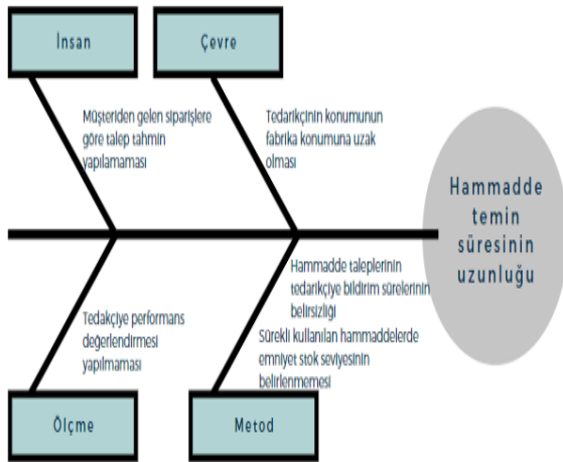
Potansiyel bir hatanın birden fazla nedeni olabilir ve bu şekilde birden fazla hataya da sebebiyet verebilir. Bu nedenle hataların kök neden analizini yapmak çok önemlidir. Grup üyeleri tarafından HTEA formu doldurularak hangi hatanın risk değerinin en fazla olduğunu bulabilmek için ise her hatanın şiddet, olasılık ve farkedilebilirlik derecesini gösteren tablolar oluşturulmuştur.



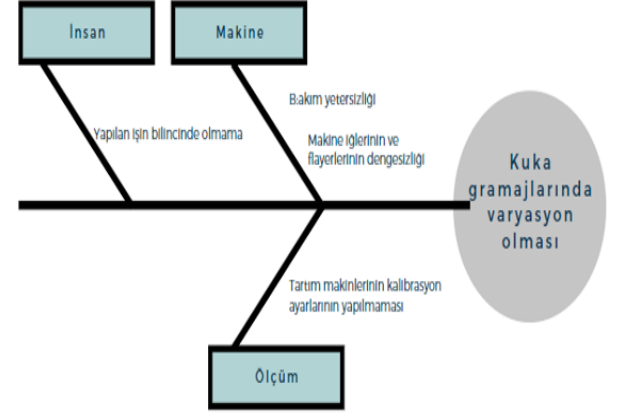
Şekil 4.3. Paketleme ve kükalama arası stoğun balık kılıçığı analizi.



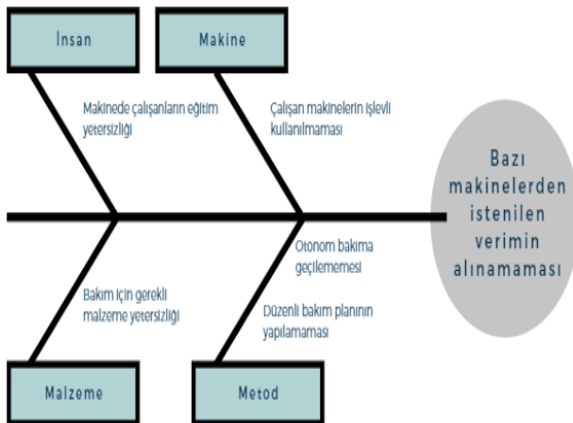
Şekil 4.6. Boyamalarda karşılaşılan abrajın balık kılıçığı analizi.



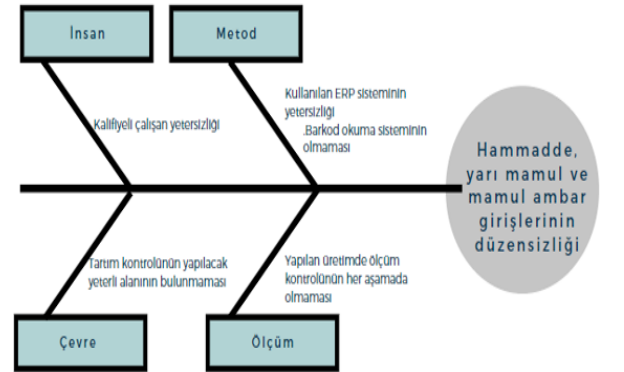
Şekil 4.4. Hammadde temin süresinin balık kılıçığı analizi



Şekil 4.7. Kuka gramajlarında karşılaşılan varyasyonun balık kılıçığı analizi.



Şekil 4.5. Verimsiz makinelerin balık kılıçığı analizi.



Şekil 4.8. Veri düzensizliğinin balık kılıçığı analizi.

Mevcut proses göz önüne alındığında her hatanın potansiyel nedenleri balık kılıçığı diyagramlarında rahatlıkla görülebilmektedir.

Söz konusu hataların hangisinin etkisinin daha yüksek olduğunu bulabilmek için RÖS değeri kısmına hatanın oluşma olasılığı, hatanın şiddeti ve farkedilebilirlik puanlarının çarpılması sonucu elde edilen sonuç yazılmıştır. Risk öncelik puanı 100'e eşit veya 100'den büyük hatalar için ilk adım, gerekli düzeltici faaliyetleri belirlemek ve daha sonra tekrarlanmaması için beraberinde önleyici faaliyetler belirlenmiştir.

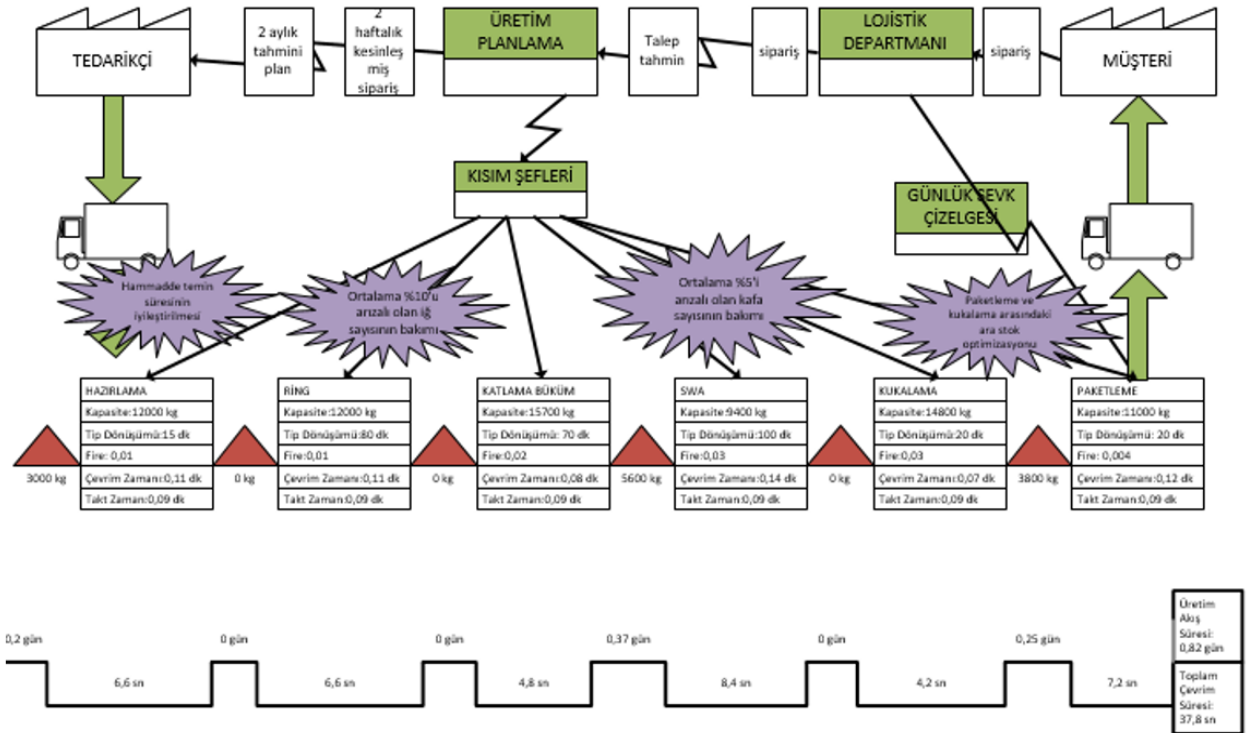
Tablo 4.1. Mevcut durum RÖS değerleri tablosu

Sıra No	Hata	RÖS(Olasılık x Şiddet x Farkedilebilirlik)
1	Paketleme sırasında yapılan asorti işlemi ile bir önceki proses olan kukulama arasındaki ara stok kontrolsüzlüğü	RÖS $6 \times 8 \times 6 = 288$
2	Hammadde temin süresinin uzunluğu	RÖS $4 \times 8 \times 6 = 192$
3	Bazı makinelerden istenilen miktarda verim alınmaması	RÖS $4 \times 7 \times 6 = 168$
4	Kazan boyamalarda abraj ile karşılaştırılması	RÖS $6 \times 4 \times 4 = 96$
5	Kuka gramajlarında varyasyon olması	RÖS $5 \times 4 \times 3 = 60$
6	Hammadde, yarı mamul ve mamul ambur girişlerin düzensizliği ve hatalı veriler	RÖS $3 \times 4 \times 5 = 60$

Yöntemin çalışma prensibi, hataların hesaplanan RÖS değerlerinin en yüksek olandan en düşük olana göre sıralanması üzerinedir. Nedeni ise bir önceki RÖS değerine sahip hatanın daha fazla risk barındırması ve iyileşmeye daha fazla ihtiyaç duymasıdır. Bundan sonraki adım ise üretim prosesinin tamamının üzerinde çalışılarak toplam üretim akış süresini, çevrim süresini ve mevcut durum RÖS değerlerini en aza indirmek olacaktır.

4.3. Gelecek Durum Analizi

Değer akış haritalama yöntemi ile üretim sürecinin çevrim zamanının, ara stok miktarının ve atıl kapasitenin azaltılması amaçlanmıştır. Değer akış haritalama ile mevcut durum ortaya çıkarılmış, sonuç ve öneriler kısmında detaylı anlatılacak olan kaizenler ile Şekil 5.3 'de verilen gelecek durum değer akışı haritası ortaya çıkarılmıştır.

**Şekil 4.9.** Gelecek durum haritası

Yapılan çalışmada aşağıdaki düzeltmeler ile karşılaşılan hatalardan ve israflardan kaçınılabileceği sonucuna varılmıştır. HTEA çalışmasını uygulanırken hataların sebeplerini görebilmek adına yapılan balık kıkığı diyagramı yardımı ile bir takım iyileştirmeler sunulmuştur.

- Eklenmesi önerilen lojistik departmanı ile müşterilerden gelebilecek siparişleri talep tahminleme yöntemleri ile geliş süresi 6-10 hafta arası olan hammadde tedariği daha kolay sağlanacaktır. Talep tahmin yöntemleri, gelecekteki satışların eldeki bilgiye göre tahmin etmeyi analiz etmeye yarar. Bu çalışmanın, düşük envanter, işletme bütçesinin oluşturulması, nakit akışının planlanması, tedarik gereksinimlerinin belirlenmesi ve nihai ürünler için pazarlama stratejilerinin saptanması gibi başlıca yararları vardır.

- En sık kullanılan hammaddeler için emniyet stok seviyeleri geliştirilerek fazla stok veya üretimi engeleyebilecek hammadde yoksunluğunun önüne geçilebilir. Örnek olarak, şekil 3.12’de görüleceği üzere, oluşturulan stok modelinde stokta olan ve açıkta iş emri olan miktara ve günlük kullanıma bakıldığında yeni sipariş verilmesi (ya da verilmemesi) gerektiği görülmektedir. Bu çalışma ile fazla stok tutmanın ve hammaddesiz kalmanın önüne geçilecektir.
- Hammaddenin istenilen terimde gelebilmesi için belirli aralıklarla tedarik performans değerlendirmesi yapılabilir. Bu değerlendirmede özellikle problem yaşanan teslimat süresinin iyileştirilmesi amaçlanarak tedarikçi ile ilişkiler yeniden gözden geçirilebilir.
- Paketleme bölümünün çevrim süresinin takt zamanından fazla olduğundan metot çalışması yapılarak bu durum dengelenebilir. Özellikle çalışması yapılan asortileme işlemi için her makinede birden fazla renkte üretim yapıldığında ürün gruplama işlemi daha kolay olacaktır. Ek olarak poşetleme ve poşet kapatma işlemi kukalama makinesi sonuna entegre edilip direk paketleme bölümüne hazır hale getirilebilir. Bu sayede paketleme bölümü çevrim süresi %70 oranında azalmıştır.

Tablo 4.2. Emniyet stok miktarı hesaplanması

Stok Kodu	Stok Adı	Öngörü Yöntemi	Öngörülen Stok Modeli	Stok	Açık İş Emirleri	Açık Satınalma Miktarı	Termin Süresi	Tahmini Stok	Günlük Ortalama Kullanım	Öngörülen Kullanım Günlük	Faktör	Asgari Stok Seviyesi	Azami Stok Seviyesi	Sipariş Miktarı
11112-001	Akrilik	Son 1 yıl	15-30	7841	20970	8624	45	-4505	5	5	0%	300	450	4955

Tablo 4.3. Paketleme bölümü zaman etüdü

Paketleme Bölümü İş Adımları	Mevcut Durum (dk)
Kukayı Gruplama	0,07
Poşetleme	0,19
Poşet Kapatma	0,08
Pakete Koyma	0,06
Toplam Ham Çevrim Süre	0,4
Paketleme Bölümü İş Adımları	Gelecek Durum (dk)
Kukayı Gruplama	0,07
Poşetlenen Ürünü Alıp Pakete Koyma	0,05
Toplam Ham Çevrim Süre	0,12

- Planlı bakım planı ile zaman içerisinde donanımı azalan parçaların onarımları gözden geçirebilir ve muhtemel hatalar önceden planlanarak bakıma alınabilir. Ayrıca planlı bakımın alt dalı olan önleyici bakım ile arızaların başlangıç safhasında ortaya çıkması önlenecektir.
- Mevcut durumda kukalama makinelerinde iğ uçları Şekil 4.10 ’daki gibidir. Bu durum işçi ürünü makineden çıkardığında kukanın ucunu makineden ayırmak için makasla kesmesi ve bu durumda fazladan ürünü deşe yapmasına neden olmaktadır. İyileştirilen durumda Şekil 4.11’de görüldüğü üzere iğ ucunda revizyon yapılmış olup kukalama işlemi

bittiğinde bu uç yardımıyla ürün makineden çıkarılmadan önce kukanın uç kısmı otomatik olarak kesilecektir. Bu revizyon sayesinde deşe oranı %2.5 oranında azalmıştır. Çalışması yapılan kalitede günlük alınan üretim 1680 kg iken yeni durumda 1720 kg olmuştur. Ayrıca uygulanması muhtemel planlı bakımlar sayesinde makinelerin duruş süreleri azalabilir ve daha verimli şekilde çalışabilir.

**Şekil 4.10** Mevcut durum kukalama makinesi iğ ucu.**Şekil 4.11.** Gelecek durum kukalama makinesi iğ ucu.

Ayrıca aşağıdaki öneriler ile de daha iyi bir çalışma ortamı sağlanabilir.

- Tüm bölümlerde çalışanların bilinçlendirilmesi ve işi yapacak yeterli seviyeye ulaşması için çalıştıkları departmana uygun eğitimler verilebilir. Özellikle işe başlamadan önce detaylı verilecek oryantasyon programı ile işe olan yatkınlıkların arttıracaktır. Ayrıca belirli aralıklarla motivasyonu arttırıcı etkinlikler düzenlenebilir.
- Özellikle ara stoğunun fazla olduğu kukalama ve paketlemenin yapıldığı alan genişletilebilir ve kullanılan malzemeler 5S'e uygun şekilde düzenlenebilir.
- Ambardaki paketleme makinesi otomasyona uygun şekilde revize edilebilir. Otomasyon ile işçi sayısı optimize edilebilir.
- Ring bölümünde eleman dağılımları gözden geçirilerek duruş süreleri azaltılabilir. Fital kiloları artırılarak tip dönüşüm süreleri düşürülebilir. Bu sayede fazla iş gücü de engelenmiş olacaktır.
- Swa baskı bölümünde takım değişim süreleri azaltılabilir. Boya kazan kiloları artırılarak tip dönüşüm süresi düşürülebilir.
- Paketleme bölümünde eleman sayısı yeniden düzenlenerek kapasite arttırılabilir. Biten ürünün kutulama işlemi kuka makine başlarında yapılarak paketleme bölümündeki iş yoğunluğu dengelenebilir.
- Her istasyonda 5S ile çalışanların çalışma ortamı iyileştirilmesi sağlanabilir.

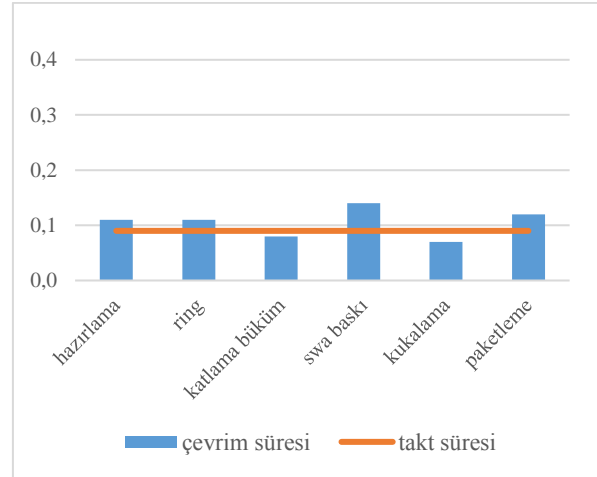
Tablo 4.4. Gelecek durum RÖS değerleri tablosu

Sıra No	Hata	RÖS(Olasılık x Şiddet x Farkedilebilirlik)
1	Paketleme sırasında yapılan asorti işlemi ile bir önceki proses olan kukalama arasındaki ara stok kontrolsüzlüğü	RÖS $2 \times 2 \times 3 = 12$
2	Hammadde temin süresinin uzunluğu	RÖS $2 \times 3 \times 2 = 12$
3	Bazı makinelerden istenilen miktarda verim alınmaması	RÖS $3 \times 3 \times 2 = 18$

Önceki RÖS değeri 288 olan paketleme ve kukalama arasındaki ara stok kontrolsüzlüğü için önerilen ambardaki paketleme makinesinin otomasyonu, o alanda çalışan işçi sayısının optimize edildiği ve 5S ile çalışma ortamının iyileştirildiği düşünüldüğünde bu hatanın gerçekleşme olasılığının ve şiddet değerinin 2, farkedilebilirlik değerinin ise 3 olabileceği kanısına varılabilir. Bu durumda sipariş müşterinin istediği termine uygun tarihte teslim edilebilir ve daha düzenli bir çalışma ortamı oluşturulabilir. Diğer bir problem olan hammadde temin süresindeki uzunluk probleminin önceki RÖS değeri 192 idi. Bu sayede problemin en büyük çözüm önerisi olan lojistik departmanı ve planlama departmanı daha entegre çalışacak olup, müşterinin geçmiş taleplerine bağlı olarak talep tahminleme yöntemi yapılacaktır. Bu

durumda müşteri durumdan çok etkilenmeyecek ve yaşanan en büyük problem olan termin problemi çözülecektir. Önerilen iyileştirmelerin yapıldığı durumda bu problem için yeni RÖS değeri 12 olacaktır. Önceki RÖS değeri 168 olan makinelerden istenilen verimin alınmaması probleminde kuka makinelerindeki iğlerin iğlerindeki iyileştirme ile deşe oranı %2.5 oranında azalmıştır. Çalışması yapılan kalitede günlük alınan üretim 1680 kg iken yeni durumda 1720 kg olmuştur. Ayrıca uygulanması muhtemel planlı bakımlar sayesinde makinelerin duruş süreleri azalabilir ve daha verimli şekilde çalışılabilir. Önerilen iyileştirmeler sonucu yapılan HTEA ile en yüksek RÖS değerine sahip 4 hata 100'ün altında kalmıştır. Bu durumda tekrar düzeltici ve önleyici faaliyetlere gerek kalmamıştır.

Şekil 4.12'de görüldüğü üzere önerilen iyileştirmeler, düzeltici ve önleyici faaliyetler ile her bir iş istasyonunun çevrim zamanı ile takt zaman arasındaki fark azalmıştır. Dolayısı ile mevcut durum grafiğindeki atıl kapasiteler ve ara stoklar ortadan kaldırılarak mevcut durumun toplam akış süresi %48'li bir oranda iyileşerek 0,85 güne, toplam çevrim süresi %57'lik bir oranda iyileşerek 37,8 sn'ye düşürülebileceği görülmüştür.



Şekil 4.12. Gelecek durum çevrim süresi grafiği

V. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz dünyasında müşteri memnuniyetini ve karlılığı en üst seviyede tutmak kalitenin en temel amaçlarından ikisidir. Hatasız ve tam zamanında ürünü müşteriye teslim etmek yalın üretimin ve toplam kalite yönetiminin gerekliliklerindedir.

Yapılan çalışma sonucunda RÖS değeri en yüksek olan problemlerin; paketleme ile kukalama bölümü arasındaki ara stok yoğunluğu, hammadde temin süresinin uzunluğu ve bazı makinelerde istenilen verimin alınmaması olduğu görülmüştür.

Önerilen iyileştirmeler sonucu son olarak HTEA çalışması tekrarlanmış ve parametlerin yenilenmesi sonucu RÖS değeri 100'ün üzerinde olan her problemin RÖS değerinin oldukça azaldığı

görülmektedir. Oluşturulan HTEA ekibi; hammaddenin işletmeye girişi ile nihai ürünün ambalajlanma ve sekiyatına kadar olan ve müşteriden alınan geri dönüşlerin dökümanlarını inceleyerek değerlendirmiştir. Uygulama sadece bir ürün ailesine ait bir siparişin zamanında teslimi ve stok zaltımı üzerine yapılmıştır. Çalışmanın gelecekte tüm ürünleri kapsayacak şekilde yapılması ve iyileşmenin daha da artırılması hedeflenmektedir. Bu çalışma gelecek zamanda, üretimi yapılan diğer ürün gruplarına da uygulanarak Yalın Üretim anlayışının daha da gelişmesi ve gelecek çalışmalar için yol gösterici bir nitelikte olacaktır. Ayrıca çalışma terimin sürelerinin azaltılması, düşük stok seviyesi, darboğaz noktaları gibi kısıtları ele alarak dünyada ve Türkiye’de yapılmış diğer çalışmaları da destekler niteliğindedir. Çalışmanın gelecekte de uygulanabilir olması önerilerin ve iyileştirilmelerin sürdürülmesine bağlıdır. Unutulmaması gereken nokta şudur ki, iyileştirilen kısımların sürekliliği için yapılan çalışmaların devamlı hale getirilmesidir. Bununla birlikte sürecin sistemli bir şekilde devamlılığı da olmazsa olmazdır. HTEA ve DAH yalnızca bir araç olup yapılacak işlerin tam zamanında olması, gerekli görülen desteğin alınması ve yapılacak işlerin bir sorumlunun gözetiminde olması durumunda amacına ulaşacaktır. Başarılı bir HTEA ve DAH, sürekli katılımın ve belirlenen sürede tamamlanmış bir çalışmanın sonucudur.

Yalın üretim işletmelere karşılaşılan hataları önleme yolunda birden fazla teknikler sunmaktadır. Yapılan uygulamalar ve sonuçları ele alındığında yalın üretimin ne denli önemini yansıtan ve dikkat çekmeyi başaran bir yöntem olduğu göze çarpmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Agus, A., & Hajinoor, M. S. (2012). Lean Production Supply Chain Management As Driver Towards Enhancing Product Quality and Business Performance. Case Study of Manufacturing Companies in Malaysia. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 29(1), 92–121.
- [2] Akçaoğlu, Ö. (2012). *Değer Akış Haritalarında Belirlenen Darboğazların Çözümü için Bayes Ağları ile Senaryo Üretimi: Çamaşır Makinesi Fabrikasında Bir Uygulama*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [3] Akın, B. (1998). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi (HTEA)*. Bilim Teknik Yayınevi.
- [4] Bamber, L., & Dale, B. G. (2000). Lean Production: A Study Of Application In A Traditional Manufacturing Environment. *Production Planning & Control*, 291–298.
- [5] Birgün, S., Gülen, K. G., & Özkan, K. (2006). Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akışı Haritalama Tekniğinin Kullanılması: İmalat Sektöründe Bir Uygulama), 47–59.
- [6] Bonavia, T., & Marin, J. A. (2006). “An Empirical Study Of Lean Production In The Ceramic Tile Industry In Spain. *International Journal of Operations & Production Management*, 505–531.
- [7] Crawford, K. M., & Blackstone, J. H. (1988). A Study of JIT Implementation and Operating Problems. *Internat J. Production Res.*, 1561–1568.
- [8] Efe, Ö. F., & Engin, O. (2012). Yalın Hizmet-Değer Akış Haritalama ve Bir Acil Serviste Uygulama. *Verimlilik Dergisi*, (4), 79–102.
- [9] Emiliani, M. L., & Stec, D. J. (2004). Using Value-Stream Maps To Improve Leadership. *Leadership & Organization Development Journal*, 8(25), 622–645.
- [10] Gahagan, S. M. (2007). Adding Value To Value Stream Mapping : A Simulation Model Template For VSM. In *Proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference*.
- [11] Golicic, S. L., & Medland, S. (2007). Size Might Matter: A Case Study of Lean Implementation in an SME. *Society for Marketing Advances Proceedings*, 261–264.
- [12] Gupta, S. M., & Brennan, L. (1995). Implementation of Just In Time Methodology In A Small Company. *Production Planning and Control*, 358–368.
- [13] Gurumurthy, A., & Kodali, R. (2011). Design of Lean Manufacturing Systems Using Value Stream Mapping with Simulation: A Case Study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(4), 444–473.
- [14] Kaymaz, E., & Çavdur, F. (2018). Montaj Hattı Dengelemede Çevrim Süresinin Minimasyonu için Yeniden İşleme İstasyonunun Kullanımı: Hata Oranı ve İstasyon Pozisyonunun Etkileri. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 201–210.
- [15] Maraşlı, H., Akça, C., & Kama, A. (2016). Yalın Düşünce ve Değer Akış Haritalamasının Dondurma Üretim İşletmesinde Uygulanması. *International Journal of Academic Values Studies*, 4(2), 106–120.
- [16] Mohanraj, R., & Sakthivel, M. (2011). QFD integrated value stream mapping : an enabler of lean manufacturing. *Int. J. Productivity and Quality Management*, 7.
- [17] Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- [18] Ömürgönülşen, M., & Çatman, R. (2018). Bir Kamu Kurumunda Değer Akış Haritalama ve Simülasyon Yöntemiyle Hizmet Sürelerinin Değerlendirilmesi. *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar*.
- [19] Ramesh, V., & Kodali, R. (2012). A Decision Framework for Maximising Lean Manufacturing Performance. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2234–2251.

-
- [20] Rother, M., & Shook, J. (1999). *Görmeyi Öğrenmek*. Yalın Enstitü Yayınları.
- [21] Sang, L. C., Khairuzzaman, W. I. W., Abdul, R. S. Z., Boon, H. K., & Yew, J. . (2013). Sustaining Customers' Loyalty: A Survey of A Coating Resins Manufacturer. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 731–734.
- [22] Sedefoğlu, G., & Akman, G. (2018). Improving an Inefficient Production Line Via AHP and Value Stream Mapping. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 14, 1–22.
- [23] Vinoth, G., & Raghuraman, S. (2013). Lean Engineering Principles: An Effective Way to Improve Performance and Process on Production Floor. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 2(3).

Propilparabenin *Daphnia magna* ve *Saccharomyces cerevisiae* Üzerindeki Toksik Etkilerinin Araştırılması

Investigation The Toxic Effects of Propylparaben on Daphnia magna and Saccharomyces cerevisiae

Ceyhun BEREKETOĞLU¹ 

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği, 31200, İskenderun, Hatay, Türkiye

Öz

Parabenler, gıda, kozmetik ve ilaç gibi farklı ticari ürünlerde koruyucu olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan parabenlerden birisi olan propilparaben (PP) mikrobiyal büyümeyi engelleyerek birçok tüketici ürünün raf ömrünü uzatmaktadır. PP dahil olmak üzere parabenlerin geniş kullanımları çevrede birikimlerine sebep olmaktadır. Bu çalışmada, PP'nin *Daphnia magna* (*D. magna*) ve *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) üzerindeki olumsuz etkilerini belirlemek için toksisite analizleri yapılmıştır. Bu amaçla, *D. magna* yavruları (< 24 saat), çok düşük konsantrasyondan (0.01 µM) çok yüksek konsantrasyona (500 µM) kadar değişen çeşitli PP konsantrasyonlarına 48 saat boyunca maruz bırakılmış ve PP'nin sağkalım üzerindeki etkisi ve LC₅₀ değerleri incelenmiştir. Buna göre, 100 µM ve üzeri PP konsantrasyonlarının *D. magna*'da yüksek seviyede toksik olduğu belirlenmiştir. LC₅₀ değerleri 24 ve 48 saat maruziyetleri için sırasıyla 58 µM ve 49.3 µM olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, farklı PP konsantrasyonlarının (10, 50, 100, 400, 800 ve 1000 µM PP) *S. cerevisiae*'ye olan etkileri büyüme kinetiği ve hücreler üzerindeki inhibisyon seviyeleri incelenerek belirlenmiştir. Büyüme kinetiğinde 100 µM PP'ye kadar olan konsantrasyonlarda herhangi bir etki gözlemlenmezken, daha yüksek konsantrasyonlarda büyüme kinetiğinde belirgin bir düşüş tespit edilmiştir. Bununla birlikte konsantrasyon arttıkça hücre inhibisyonunda artış gözlemlenmiştir. PP'nin iki model organizmadaki etkileri karşılaştırıldığında *D. magna*'da daha yüksek toksisite tespit edilmiştir. Genel olarak, bu çalışma, PP'nin olumsuz etkileri hakkında önemli bilgiler sağlamış ve parabenlerle ilişkili toksisitenin moleküler mekanizmasını keşfetmek için daha fazla araştırmanın gerekliliğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Propilparaben, toksisite, *D. magna*, *S. cerevisiae*, LC₅₀

Abstract

Parabens are widely used as a preservative in different commercial products such as food, cosmetics and pharmaceuticals. Propylparaben (PP), one of the most widely used parabens, prevents microbial growth and extends the shelf life of many consumer products. The wide use of parabens, including PP, causes their accumulation in the environment. In this study, toxicity analyzes were conducted to determine the adverse effects of PP on *Daphnia magna* (*D. magna*) and *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*). For this purpose, *D. magna* juveniles (<24 hours) were exposed to various PP concentrations ranging from very low concentration (0.01 µM) to very high concentration (500 µM) for 48 hours, and the effects of PP on survival were investigated and LC₅₀ values were determined. PP concentrations at 100 µM and above were highly toxic to *D. magna*. LC₅₀ values were 58 µM and 49.3 µM at 24 and 48 h exposures, respectively. Meanwhile, the effects of various PP concentrations (10, 50, 100, 400, 800 and 1000 µM PP) on *S. cerevisiae* were determined using growth kinetics and inhibition levels as endpoints. While no effect on growth kinetics was observed at concentrations up to 100 µM PP, higher concentrations resulted in significant decrease in growth kinetics of yeast cells. Cell inhibition increased with increase of PP concentrations. PP showed higher toxicity in *D. magna* compared to *S. cerevisiae*. Overall, this study provided important insight into the adverse effects of PP and demonstrated the need for further research to explore the molecular mechanism of parabens-associated toxicity.

Keywords: Propylparaben, toxicity, *D. magna*, *S. cerevisiae*, LC₅₀

I. GİRİŞ

Parabenler, antimikrobiyal aktiviteye sahip mükemmel bir koruyucu olan p-hidroksibenzoik asidin alkil esterleridir ve ilaç, gıda ve kozmetik gibi çeşitli tüketici ürünlerinde küf ve mayaları kontrol etmek için kullanılmaktadır [1-4]. Her yıl dünya çapında yaklaşık 8000 ton paraben tüketilmekte olup bu bileşikler, üretimi ve bertarafı sırasında çevreye sızabilmektedir. Bu nedenle, düzenli depolama alanlarında, atık su arıtma tesislerinde ve kanalizasyon çamurunda tespit edilebilmektedirler [5]. Ayrıca, paraben ve metabolitleri hava, toz,

atık su, yüzey suları, ve insan idrarı gibi yerlerde de tespit edilmiştir [1, 2]. Paraben maruziyeti, sindirim, inhalasyon veya deri absorpsiyon yoluyla gerçekleşebilmektedir [6]. Bununla birlikte, bu bileşiklerin çeşitli *in vivo* ve *in vitro* çalışmalarda endokrin bozucu aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir [2, 6-8]. Günümüzde, yüksek üretim kapasiteleri, sürekli kullanımları ve çevreden uzaklaştırma oranına kıyasla yüksek salınım oranları nedeniyle parabenler ekosisteme yönelik potansiyel bir tehdit oluşturmaya başlamıştır [2].

Propilparaben (PP), bu ailenin bir üyesi olup mikrobiyal büyümeyi engelleyerek çeşitli tüketici ürünlerin raf ömrünü uzatmak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [9, 10]. PP, geniş bir pH aralığında stabil bir molekül olup suda yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. Böylece sulu bir fazda etkili bir konsantrasyon seviyesine ulaşma potansiyeli taşımaktadır [11]. Aerobik koşullar altında biyolojik olarak kolayca parçalanabilir ve biyolojik birikim potansiyeli düşük - orta düzeydedir [12, 13]. PP'nin yaygın kullanımı, sucul ortamlarda tespit edilmesiyle sonuçlanmıştır. Bildirilen PP konsantrasyonları sırasıyla ham atık suda ~20 µg/L, arıtılmamış sızıntı sularında 1,82 µg/L, çamurda 174 ng/g kuru ağırlık (ka), çöktürmelerde 60 ng/g ka'dır [1, 9, 14, 15]. Ayrıca içme suyundaki PP varlığı 9 ng/L seviyesinde belirlenmiştir [14].

Yapılan çalışmalarda, PP'ye maruz kalmanın insan spermelerinin canlılığını değiştirdiği ve sıçanların ön midesinde hücre proliferasyonunu uyardığı gösterilmiştir [16, 17]. PP'nin erkek gök kuşağı alabalığı ve Japon pirinç balığında vitellojenin sentezini tetiklediği rapor edilmiştir [18, 19]. İplik kurdu (*Caenorhabditis elegans*) ile yapılan diğer bir çalışmada PP'nin konsantrasyona bağlı toksisite gösterdiği ve organizmanın boy uzunluğunu azalttığı ve üremeği tetiklediği bildirilmiştir [20]. Yakın zamanda yapılan bir başka çalışmada PP'nin konsantrasyona bağlı bir şekilde zebra balığında gelişim anomalilerine ve gen ekspresyon seviyelerinde değişimlere sebep olduğu tespit edilmiştir [21]. Çalışmamızda yer alan organizmalardan biri olan *D. magna*'da yapılan çalışmalarda da PP'nin artan konsantrasyonlarına bağlı olarak toksisite gösterdiği bildirilmiştir [22-24]. PP'nin *in vivo* ve *in vitro* etkileri geniş çapta incelenmesine rağmen, elde edilen veriler halen yetersiz ve/veya sonuçsuz kalmaktadır.

Daphnia magna (*D. magna*; su piresi), toksikolojik çalışmalarda önemli bir *in vivo* model organizma olup dünya çapında ekotoksikolojik testler için en yaygın kullanılan sistemlerden biridir [25]. *D. magna*, yosun, bakteri ve protozoaları besin olarak kullanırken balıklar için birincil yem olduğu için ekolojik besin ağlarında önemli bir tür olarak kabul edilir [26]. Bununla birlikte, *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*; maya), yaşlanma, hücre döngüsü, nörodejeneratif hastalıklar, gen ekspresyonunun düzenlenmesi ve birçok farklı

biyolojik süreci araştırmak için çeşitli çalışmalarda kullanılan ökaryotik bir model organizmadır [27]. *S. cerevisiae* basit büyüme koşullarına, hızlı üreme oranlarına sahiptir ve kolaylıkla manipüle edilebilir. Dahası, insanlar dahil yüksek ökaryotlarla birçok yapısal ve işlevsel benzerliği bulunmaktadır [28]. Bu nedenle, bu iki organizma potansiyel olarak kirleticilerin toksisitesinin altında yatan moleküler mekanizmaları ortaya çıkarmak ve daha yüksek ökaryotlardaki verileri tahmin etmek için kullanılabilir.

Bu çalışmada, PP'nin toksik etkilerini değerlendirmek için biyolojik model olarak kullanılan *D. magna* ve *S. cerevisiae* kontrollü koşullar altında laboratuvarında PP'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmıştır. Çalışmamızda PP'nin konsantrasyona bağlı olarak her iki organizmada da toksik olduğu, büyümeyi inhibe ettiği ve yüksek dozlarda öldürücü olduğu tespit edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan propilparaben (PP; saflik - % 98) Sigma-Aldrich'ten (St Louis, MO) satın alınmıştır. Maruziyet deneylerinde kullanılan konsantrasyonları elde etmek için PP, dimetilsülfoksit (DMSO; Sigma) içinde çözülmüştür. DMSO'nun deneylerdeki maksimum konsantrasyonu % 0.1 olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. *D. magna* kültürü, bakımı ve maruziyeti

PP'nin etkisini incelemek için Daphtoxkit (MicroBioTests Inc., Belçika) kullanılmıştır. *D. magna* yumurtaları musluk suyunda durularak aktive edilmiş ve ardından 6000 lüks sürekli aydınlatma altında ve 20–22 °C sıcaklıkta, standart suda (67,75 mg/L NaHCO₃, 294 mg/L CaCl₂, 123,25 mg/L MgSO₄ ve 5,75 mg/L KCl) 72–90 saat inkübe edilerek yumurtadan çıkmaları sağlanmıştır. Yumurtadan yeni çıkan yavrular (<24 saat), maruziyetten 2 saat önce *Spirulina* mikroalg süspansiyonu ile beslenmiştir.

2.2.2. *D. magna* akut toksisite analizi

Hayatta kalma deneyi için *D. magna* yavruları (< 24 saat), her bir kuyuda 10-20 hayvan olmak üzere 6 kuyucuklu plakalarda (BD Falcon) PP'ye maruz bırakılmıştır. Her maruziyet üç tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. *D. magna*, % 0.1 DMSO (kontrol) veya PP (0.01, 0.1, 1, 5, 10, 25, 50, 100, 250, ve 500 µM) içeren 10 mL standart suya maruz bırakılmıştır. 24 ve 48 saatlerde hayatta kalma oranları kayıt altına alınmıştır. Bir yavru, mikroskop ile incelemede, hareketsizleşmişse ve organ hareketi gözlenmemişse ölü kabul edilmiştir. Daha sonra, ölüm oranının % 50 olduğu (LC₅₀ değerleri) PP konsantrasyonları (µM) ve *D. magna*'nın ölüm oranı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon eğrileri kullanılarak belirlenmiştir.

2.2.3. *S. cerevisiae* suş, büyüme koşulları ve PP maruziyeti

S. cerevisiae BY4742 (Mata; his3Δ1; leu2Δ0; lys2Δ0; ura3Δ0) Euroscarf koleksiyonundan (Frankfurt, Almanya) temin edilmiştir. Aksi belirtilmedikçe, hücreler 30° C ve 180 rpm orbital çalkalama ile kültüre edilmiştir. Ön kültürler için, 25 mL maya ekstraktı – pepton – glikoz (yeast extract – peptone – glucose; YPD) ortamı (% 2 [w/v] d-glikoz, % 2 [w/v] pepton, % 1 [w/v] maya ekstraktı), YPD petri kabından elde edilen tek bir hücre kolonisi ile aşılınmış ve gece boyunca inkübe edilmiştir. Ön kültürün % 1'lik bir hacim fraksiyonu daha sonra 500 mL'lik erlenmeyer flasklarda bulunan 100 mL YPD sıvı besiyerini aşılama için kullanılmış ve 600 nm'de (OD600 nm) logaritmik fazın ortası olan optik yoğunluğa kadar büyütülmüştür. Daha sonra kültürler çeşitli nihai konsantrasyonlarda (10, 50, 100, 400, 800 ve 1000 µM) PP eklenmiştir. Ortamdaki son DMSO konsantrasyonu, büyümeyi etkilemeyen % 0.1'de (v/v) tutulmuştur. % 0.1 (v/v) DMSO içeren, ancak PP içermeyen başka bir kültür ise kontrol olarak kullanılmıştır. Kullanılan PP konsantrasyonları için büyüme eğrisi, 600 nm'de optik yoğunluk izlenerek oluşturulmuştur.

2.2.4. *S. cerevisiae*'da inhibisyon oranlarının belirlenmesi

PP maruziyetinden sonra inhibisyon oranlarını belirlemek için hücre canlılığı, daha önceki çalışmalarda belirtilen yöntemlere göre metilen mavisi çözeltisi (% 0.01 metilen mavisi, % 2 sodyum sitrat) ile boyama yoluyla ölçülmüştür [29, 30]. Kısaca, 3 saat boyunca PP'ye maruz bırakılan maya kültürlerinden örnekler alınmış, uygun şekilde seyreltilmiş ve eşit hacimde metilen mavisi çözeltisi ile karıştırılmıştır. Ölü (mavi boyalı) ve canlı (boyanmamış) hücrelerin sayısı, karıştırıldıktan sonra 10 dakika içinde mikroskop altında belirlenmiştir. Maya büyümesinin inhibisyon yüzdesi (ölümcül olmayan PP dozları altında), $[(N^0 - N^x) / N^0] \times 100$ olarak tanımlanmıştır. Burada N^x ve N^0 , sırasıyla X µM PP içeren ve içermeyen kültürlerdeki maya hücrelerinin sayısıdır [29].

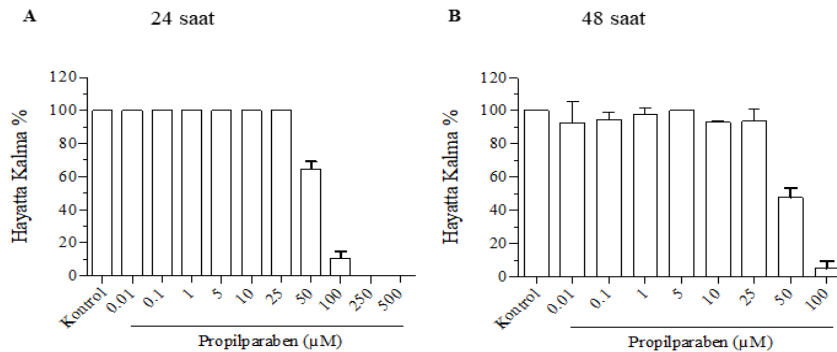
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ekosistemin antropojenik bileşiklerle kirlenmesi ve bu

çevresel kirleticilerin canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkileri gün geçtikçe toplumsal kaygıları arttırmaktadır. Parabenler dâhil birçok bileşik ve metabolitleri canlıları olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, en çok kullanılan parabenlerden bir tanesi olan PP'nin olası toksik etkileri iki önemli biyolojik model *D. magna* ve *S. cerevisiae* kullanılarak araştırılmıştır.

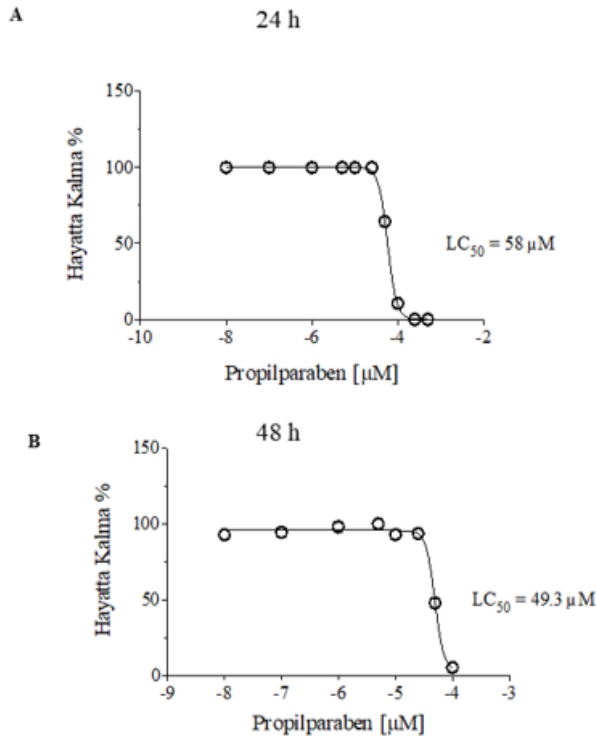
3.1. PP'nin *D. magna* üzerindeki toksik etkileri

D. magna üzerindeki etkisini belirlemek için, PP'nin çok düşük konsantrasyonundan (0.01 µM), çok yüksek konsantrasyonuna (500 µM) kadar çeşitli konsantrasyonlar kullanılarak akut toksisiteye neden olup olmadığını değerlendirmek için hayatta kalma testi yapılmıştır. *D. magna*'nın yumurtadan çıktıktan sonra 24 saatlik maruziyeti, 250 ve 500 µM PP konsantrasyonlarında bütün yavruların ölümü ile sonuçlanmıştır (Şekil 1A). Bununla birlikte, aynı maruziyette 50 ve 100 µM PP konsantrasyonlarında da önemli derecede toksik etki tespit edilmiş olup, hayatta kalma oranları sırasıyla % 64.51 ve % 10.52 olarak bulunmuştur (Şekil 1A). Diğer taraftan daha düşük PP konsantrasyonlarında 24 saatlik maruziyet sonunda herhangi bir etki gözlemlenmemiştir (Şekil 1A). Bununla birlikte, 48 saatlik maruziyet sonunda 50 ve 100 µM PP konsantrasyonlarında hayatta kalma oranları sırasıyla % 47.79 ve % 5.13'e kadar düşmüştür (Şekil 1B). İlk 24 saat sonunda herhangi bir etki göstermeyen 10 ve 25 µM PP konsantrasyonları ise 48 saat sonunda toksik etki göstermiş ve hayatta kalma oranları sırasıyla %92.97 ve % 93.65 olarak bulunmuştur (Şekil 1B). Elde edilen veriler PP'nin *D. magna* üzerindeki toksik etkisinin konsantrasyona bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Çalışmada elde edilen verilere benzer şekilde, daha önce Japon pirinç balığı embriyolarında yapılmış bir çalışmada, 4000 µg/L (~ 22,2 µM) PP'nin embriyolarda anlamlı seviyede bir ölüme neden olmadığı (%7 ± 2.6 ölüm) gösterilmiştir [9]. Zebra balığı embriyolarında yapılan bir başka çalışmada ise 25 µM ve üstü PP konsantrasyonlarının anlamlı düzeyde öldürücü olduğu belirlenmiştir [21]. Bu çalışma ve önceki çalışmalar birlikte ele alındığında, PP toksisitesine farklı türlerin duyarlılık seviyelerinin değişken olabileceğini göstermektedir.



Şekil 1. PP'nin *D. magna* sağkalımı üzerindeki etkileri. Hayatta kalma oranlarının belirlenmesi için *D. magna* yavruları PP'ye maruz bırakılmıştır. (A) 24 saat, (B) 48 saat sonunda hayatta kalma seviyeleri.

LC₅₀ değeri, organizma popülasyonunun % 50'sinin ölmesine sebep olan kimyasal konsantrasyonudur [23]. Çalışmada daha önce de belirtildiği gibi farklı konsantrasyonlardaki PP'ye maruz bırakılan *D. magna* için LC₅₀ değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 24 ve 48 saatlik maruziyetler için LC₅₀ değeri sırasıyla 58 µM ve 49.3 µM olarak bulunmuştur (Şekil 2A ve 2B). Bu sonuçlara göre maruziyet süresi arttıkça *D. magna* için PP'nin toksisite seviyesi artmakta ve buna paralel olarak LC₅₀ değeri düşmektedir. Daha önce *D. magna* ile yapılan akut toksisite çalışmasında 24 saatlik maruziyet sonunda LC₅₀ değeri yaklaşık 117.1 µM olarak bulunmuştur [23]. *D. magna* ile yapılan bir başka çalışmada ise 48 saatlik akut toksisite maruziyeti sonunda LC₅₀ değeri yaklaşık 68.3 µM olarak tespit edilmiştir [22]. Bu farklar, *D. magna* kaynağı ve deney ortamı, sıcaklık, kültür için kullanılan suyun kimyasal bileşimi ve besin kaynağı dahil maruz kalma koşullarının farklılığından kaynaklanıyor olabilir. Bununla birlikte, iplik kurduna yapılan bir çalışmada 24 saatlik PP maruziyeti sonunda LC₅₀ değeri 261.7 µM olarak bulunmuştur [20]. Bulgular karşılaştırıldığında *D. magna*'nın iplik kurduna göre PP hassasiyeti daha yüksek olup, PP'nin türe bağlı etki seviyesinin değiştiği söylenebilir.

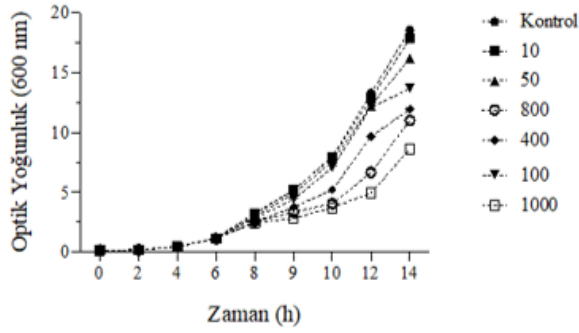


Şekil 2. *D. magna* için PP LC₅₀ değerleri. *D. magna* yavruları PP'nin farklı konsantrasyonlarına maruz bırakılmış ve LC₅₀ değerleri regresyon analizi ile belirlenmiştir. (A) 24 saat, (B) 48 saat için LC₅₀ değerleri.

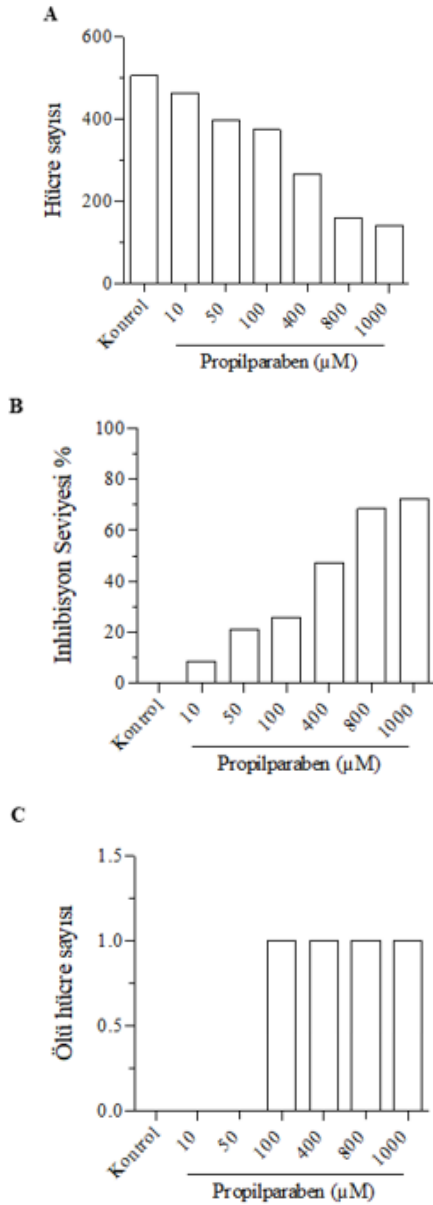
3.2. PP'nin *S. cerevisiae* üzerindeki toksik etkileri

PP'nin *S. cerevisiae* BY4742 suşu üzerindeki etkisini araştırmak için maya hücreleri PP'ye maruz bırakılarak inceleme altına alınmıştır. Bu analizler için maya kültürleri, logaritmik fazın ortasından başlayarak 3 saat boyunca PP'ye maruz bırakılmıştır. Maruz kalma süresi, maya hücrelerinin kimyasallara karşı moleküler cevaplarının tipik olarak maruziyetten birkaç saat sonra ortaya çıktığını gösteren önceki çalışmaların sonuçlarına dayanmaktadır [29, 31, 32].

PP'nin toksik seviyesini belirlemek için, maya hücrelerini çeşitli PP konsantrasyonlarına (10, 50, 100, 400, 800 ve 1000 µM PP) maruz bırakılmış ve metilen mavisi çözeltisi ile boyama yöntemiyle hücre canlılığı ölçülmüştür. 100 µM PP'ye kadar olan konsantrasyonlarda büyüme kinetiğinde (optik yoğunluk) etki gözlemlenmemiştir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda konsantrasyon arttıkça büyüme kinetiğinin düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 3). Bunun tersine, hücre sayısı ölçümlerine bakıldığında en düşük konsantrasyondan itibaren konsantrasyondaki artışa paralel olarak inhibisyon seviyesinde bir artış (hücre sayısında düşüş) olduğu belirlenmiştir (Şekil 4A ve 4B). Elde edilen verilere bakıldığında en düşük konsantrasyon olan 10 µM PP'de %8.5 inhibisyon gözlemlenirken, en yüksek konsantrasyon olan 1000 µM PP'de ise %72.1 inhibisyon tespit edilmiştir (Şekil 4B). Diğer taraftan kullanılan hiçbir konsantrasyonda anlamlı seviyede bir hücre ölümüne rastlanmazken 100 µM PP üzeri konsantrasyonlarda birer hücre ölümü tespit edilmiştir (Şekil 4C). Çalışmada yer alan *D. magna* ve *S. cerevisiae* PP toksisitesi bakımından karşılaştırıldığında maya hücrelerinin çok daha dirençli olduğu söylenebilir. 100 µM PP konsantrasyonun *D. magna*'da yüksek seviyede toksik olduğu (24 ve 48 saat sonunda hayatta kalma oranları sırasıyla % 10.52 ve % 5.13) belirlenirken, aynı konsantrasyonun *S. cerevisiae*'de öldürücü olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 1 ve 4). Bununla birlikte, *D. magna* ve birçok farklı organizma ile yapılan çalışmalar dikkate alındığında [8, 20-23] *S. cerevisiae* hücrelerinin PP toksisitesi karşısında yüksek bir toleransa sahip olduğu söylenebilir. Bu görece yüksek PP toleransının altında yatan olası moleküler mekanizmalar arasında *S. cerevisiae* tarafından geliştirilen adaptif mekanizmaların yer alabileceği düşünülmektedir. *S. cerevisiae* değişken çevresel ve fizyolojik koşullar altında işlev gören birçok gen duplikasyonuna sahiptir. Bu gen duplikasyonları merkezi metabolizmada yoğunlaşmış olup, merkezi metabolizmada yer alan metabolik yollar hücrenin canlılığını devam ettirmede diğer metabolik yollardan daha aktiftir. Ayrıca, maya hücrelerinde bulunan ve farklı stres koşullarında devreye giren alternatif sinyal yolları da bulunmaktadır [33]. Bununla birlikte, gen ve protein ekspresyonu gibi farklı son noktalarda analizler yaparak bu adaptif mekanizmaların PP toksisitesindeki etkin rollerinin tespit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3. Farklı PP konsantrasyonları maruziyetinde *S. cerevisiae* BY4742 suşu büyüme kinetiği. Maya hücreleri çeşitli PP konsantrasyonlarına maruz bırakılmış ve 600 nm'de optik yoğunluk ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 4. PP maruziyetinin *S. cerevisiae* BY4742 suşu üzerindeki etkileri. (A) Hücre sayısı, (B) İnhibisyon seviyesi (%), (C) Ölü hücre sayısı.

IV. SONUÇ

Parabenler, ticari ürünlerde koruyucu olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, toksisiteyi yeterli bir seviyede değerlendirilmemiştir. Bu çalışmada, iki model organizma *D. magna* ve *S. cerevisiae*'de en yaygın kullanılan parabenlerden biri olan PP'nin toksisitesi araştırılmıştır. Elde edilen veriler PP'nin ekosistemdeki canlılar için zararlı olabileceğini göstermektedir. PP, *D. magna*'da yüksek toksisite profili göstermiş, *S. cerevisiae* hücrelerinde önemli derecede inhibisyon etkisi yaratmıştır. Sonuçlar, PP'nin *S. cerevisiae* ile karşılaştırıldığında *D. magna*'da daha yüksek toksisiteye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışmadaki bulgular, PP'nin konsantrasyona bağlı bir şekilde *D. magna* ve *S. cerevisiae* için toksik olduğunu göstermektedir. Ekosistemde parabenlerin seviyesi her geçen gün artmaktadır, bu nedenle kullanımlarını düzenlemek için etki mekanizmaları ayrıntılı olarak incelenmelidir. Bu kapsamda, bu çalışmada sunulan bilgiler, parabenlerin etkilerine ilişkin fikir vermektedir. Bununla birlikte, parabenlerin toksisitesine dair moleküler mekanizmaları ortaya çıkarmak için daha ileri çalışmalar yapılması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü Moleküler Ekoloji Araştırma Grubu, Örebro Üniversitesi (İsveç), Yaşam Bilimleri Merkezi Moleküler Biyoloji Araştırma Grubu ve İskenderun Teknik Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Haman, C., Dauchy, X., Rosin, C. ve Munoz, J. F., (2015). Occurrence, fate and behavior of parabens in aquatic environments: a review. *Water Research*, 68, 1-11.
- [2] Martín, J. M. P., Peropadre, A., Herrero, Ó., Freire, P. F., Labrador, V. ve Hazen, M. J., (2010). Oxidative DNA damage contributes to the toxic activity of propylparaben in mammalian cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 702, 86-91.
- [3] Golden, R., Gandy, J. ve Vollmer, G., (2005). A review of the endocrine activity of parabens and implications for potential risks to human health. *Critical Reviews in Toxicology*, 35, 435-58.
- [4] Calafat, A. M., Ye, X., Wong, L.-Y., Bishop, A. M. ve Needham, L. L., (2010). Urinary concentrations of four parabens in the US population: NHANES 2005–2006. *Environmental Health Perspectives*, 118, 679-85.
- [5] Gao, Y., Ji, Y., Li, G. ve An, T., (2016). Theoretical investigation on the kinetics and mechanisms of hydroxyl radical-induced transformation of parabens and its consequences for toxicity: Influence of alkyl-chain length. *Water Research*, 91, 77-85.
- [6] Kodani, S. D., Overby, H. B., Morisseau, C., Chen, J., Zhao, L. ve Hammock, B. D., (2016). Parabens inhibit fatty acid amide hydrolase: A potential role in

- paraben-enhanced 3T3-L1 adipocyte differentiation. *Toxicology Letters*, 262, 92-9.
- [7] Kusk, K. O., Krüger, T., Long, M., Taxvig, C., Lykkesfeldt, A. E., Frederiksen, H. vd., (2011). Endocrine potency of wastewater: contents of endocrine disrupting chemicals and effects measured by in vivo and in vitro assays. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30, 413-26.
- [8] Boberg, J., Taxvig, C., Christiansen, S. ve Hass, U., (2010). Possible endocrine disrupting effects of parabens and their metabolites. *Reproductive Toxicology*, 30, 301-12.
- [9] González-Doncel, M., García-Mauriño, J. E., San Segundo, L., Beltrán, E. M., Sastre, S. ve Torija, C. F., (2014). Embryonic exposure of medaka (*Oryzias latipes*) to propylparaben: effects on early development and post-hatching growth. *Environmental Pollution*, 184, 360-9.
- [10] Szeląg, S., Zabłocka, A., Trzeciak, K., Drozd, A., Baranowska-Bosiacka, I., Kolasa, A. vd., (2016). Propylparaben-induced disruption of energy metabolism in human HepG2 cell line leads to increased synthesis of superoxide anions and apoptosis. *Toxicology in Vitro*, 31, 30-4.
- [11] Soni, M., Burdock, G., Taylor, S. ve Greenberg, N., (2001). Safety assessment of propyl paraben: a review of the published literature. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 513-32.
- [12] Butkovskiy, A., Rijnaarts, H., Zeeman, G. ve Leal, L. H., (2016). Fate of personal care and household products in source separated sanitation. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 427-34.
- [13] Siddique, S., Kubwabo, C. ve Harris, S. A., (2016). A review of the role of emerging environmental contaminants in the development of breast cancer in women. *Emerging Contaminants*, 2, 204-19.
- [14] Carmona, E., Andreu, V. ve Picó, Y., (2014). Occurrence of acidic pharmaceuticals and personal care products in Turia River Basin: from waste to drinking water. *Science of the Total Environment*, 484, 53-63.
- [15] Peng, X., Ou, W., Wang, C., Wang, Z., Huang, Q., Jin, J. vd., (2014). Occurrence and ecological potential of pharmaceuticals and personal care products in groundwater and reservoirs in the vicinity of municipal landfills in China. *Science of the Total Environment*, 490, 889-98.
- [16] Shibata, M-A., Yamada, M., Hirose, M., Asakawa, E., Tatematsu, M. ve Ito, N., (1990). Early proliferative responses of forestomach and glandular stomach of rats treated with five different phenolic antioxidants. *Carcinogenesis*, 11, 425-9.
- [17] Bao-Liang, S., Hai-Ying, L. ve Dun-Ren, P., (1989). In vitro spermicidal activity of parabens against human spermatozoa. *Contraception*, 39, 331-5.
- [18] Inui, M., Adachi, T., Takenaka, S., Inui, H., Nakazawa, M., Ueda, M. vd., (2003). Effect of UV screens and preservatives on vitellogenin and choriogenin production in male medaka (*Oryzias latipes*). *Toxicology*, 194, 43-50.
- [19] Pedersen, K. L., Pedersen, S. N., Christiansen, L. B., Korsgaard, B. ve Bjerregaard, P., (2000). The preservatives ethyl-, propyl- and butylparaben are oestrogenic in an in vivo fish assay. *Pharmacology & Toxicology*, 86, 110-3.
- [20] García-Espiñeira, M. C., Tejada-Benítez, L. P. ve Olivero-Verbel, J., (2018). Toxic effects of bisphenol A, propyl paraben, and triclosan on *Caenorhabditis elegans*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 684.
- [21] Bereketoglu, C. ve Pradhan, A., (2019). Comparative transcriptional analysis of methylparaben and propylparaben in zebrafish. *Science of the Total Environment*, 671, 129-39.
- [22] Dobbins, L. L., Usenko, S., Brain, R. A. ve Brooks, B. W., (2009). Probabilistic ecological hazard assessment of parabens using *Daphnia magna* and *Pimephales promelas*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28, 2744-53.
- [23] Lee, J., Bang, S. H., Kim, Y-H. ve Min, J., (2018). Toxicities of four parabens and their mixtures to *Daphnia magna* and *Aliivibrio fischeri*. *Environmental Health and Toxicology*, 33.
- [24] Terasaki, M., Makino, M. ve Tatarazako, N., (2009). Acute toxicity of parabens and their chlorinated by-products with *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri* bioassays. *Journal of Applied Toxicology*, 29, 242-7.
- [25] Jordão, R., Garreta, E., Campos, B., Lemos, M. F., Soares, A. M., Tauler, R. vd., (2016). Compounds altering fat storage in *Daphnia magna*. *Science of the Total Environment*, 545, 127-36.
- [26] Colbourne, J. K., Pfrender, M. E., Gilbert, D., Thomas, W. K., Tucker, A., Oakley, T. H. vd., (2011). The ecoresponsive genome of *Daphnia pulex*. *Science*, 331, 555-61.
- [27] Karathia, H., Vilaprinoy, E., Sorribas, A. ve Alves, R., (2011). *Saccharomyces cerevisiae* as a model organism: a comparative study. *PLoS One*, 6:e16015.
- [28] Duina, A. A., Miller, M. E. ve Keeney, J. B., (2014). Budding yeast for budding geneticists: a primer on the *Saccharomyces cerevisiae* model system. *Genetics*, 197, 33-48.
- [29] Bereketoglu, C., Arga, K. Y., Eraslan, S. ve Mertoglu, B., (2017). Genome reprogramming in *Saccharomyces cerevisiae* upon nonylphenol exposure. *Physiological Genomics*, 49, 549-66.
- [30] Winter, D., Podtelejnikov, A. V., Mann, M. ve Li, R., (1997). The complex containing actin-related proteins Arp2 and Arp3 is required for the motility and integrity of yeast actin patches. *Current Biology*, 7, 519-29.
- [31] Gasch, A. P. ve Werner-Washburne, M., (2002). The genomics of yeast responses to environmental stress and starvation. *Functional & Integrative Genomics*, 2, 181-92.
- [32] Gil, F. N., Gonçalves, A. C., Jacinto, M. J., Becker, J. D. ve Viegas, C. A., (2011). Transcriptional profiling in *Saccharomyces cerevisiae* relevant for predicting alachlor mechanisms of toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30, 2506-18.

[33] Maltsev, N., Glass, E. M., Ovchinnikova, G. ve Gu, Z., (2005). Molecular mechanisms involved in robustness of yeast central metabolism against null mutations. *Journal of Biochemistry*, 137, 177-87.

The Comparison of Artificial Neural Network Approach and Response Surface Model for Evaluation Upper Limb Performance in Patients with Chronic Neck Pain

Kronik Boyun Ağrısı Olan Hastalarda Üst Ekstremitte Performansının Değerlendirilmesi için Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Yanıt Yüzeyi Modelinin Karşılaştırılması

Leyla BAKACAK KARABENLİ¹ , Serpil AKTAŞ ALTUNAY¹ 

¹ Hacettepe University, Department of Statistics, Beytepe, Ankara, Turkey

Abstract

Response surface model (RSM) is used to detect the variable values that make the response variable maximum or minimum. Besides, the effect of exploratory variables on the response variable is determined. Thus, this method can be referred as a combination of regression analysis and optimization. RSM is mostly used in many fields such as industry and chemistry. However, it has limited application in the field of health. The upper limb performance assessment is a two-stage assessment of upper limb contributions to task performance. In this study, the upper limb performance of chronic neck pain patients is examined on 63 patients. The upper extremity functional index (UEFI-20) identifying the performance of upper limb is assigned as response variable. Input variables are taken as the variables related the pain-rating scales of patients at rest or in activity. The central composite model is implemented to estimate the model. The artificial neural network (ANN) approach is also applied to upper limb performance data. The mean absolute error, correlation coefficients, standard error of prediction are obtained from evaluating the experimental and predicted values of both models. The comparative analysis for both models is made on the prediction accuracy.

Keywords: Response surface model, optimization, artificial neural network, upper limb performance

Öz

Yanıt yüzey modeli (YYM), yanıt değişkenini maksimum veya minimum yapan değişken değerleri tespit etmek için kullanılır. Ayrıca, açıklayıcı değişkenlerin cevap değişkeni üzerindeki etkisi belirlenir. Dolayısıyla, bu yöntem, regresyon analizi ve optimizasyonun bir kombinasyonu olarak adlandırılabilir. YYM, çoğunlukla sanayi ve kimya gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak, sağlık alanında sınırlı bir uygulamaya sahiptir. Üst ekstremitte performans değerlendirilmesi, üst ekstremitte ve onun görev performansı olarak iki aşamalı bir değerlendirmedir. Bu çalışmada, kronik boyun ağrılı hastaların üst ekstremitte performansı 63 hastada incelenmiştir. Üst ekstremitenin performansını tanımlayan üst ekstremitte fonksiyonel indeksi(UEFI-20) cevap değişkeni olarak belirlenmiştir. Girdi değişkenleri, istirahatte veya etkin durumdaki hastaların ağrı derecelendirme ölçekleriyle ilgili değişkenler olarak alınmıştır. Merkezi kompozit model, modeli tahmin etmek için uygulanmıştır. Yapay Sinir Ağı yaklaşımı da üst ekstremitte performans verilerine uygulanmıştır. Hata kareler ortalaması, korelasyon katsayıları, standart hatası, her iki modelin de deneysel ve öngörülen değerleri değerlendirilerek elde edilmiştir. Her iki model için karşılaştırmalı analiz, tahminlerin doğrulukları üzerinden yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yanıt yüzeyi modeli, optimizasyon, yapay sinir ağları, üst ekstremitte performansı

I. INTRODUCTION

Chronic neck pain is an important public health problem and, it affects one's daily life activities negatively. Besides, it causes functional disability, productivity loss and disability resulting in workforce and economic loss [1]. The upper limb performs extensive movements and movements that require motor skills. Performing life activities such as eating and hobbies such as painting are the task of upper extremity with the connections between the shoulder and the hand [2]. As the upper limb problems are one of the major problems in modern life and can affect all people in the world, in the literature, many kinds of researches have been carried out on the upper limb problems (eg. [3, 4, 5]).

Upper limb (extremity) performance assessment is a two-stage evaluation of the performance of the upper extremity and the motor factors such as muscle strength and sensory factors impacting on task performance. Upper limb function consists of main headings as sensation, muscle strength, coordination and arm stability. Under these headings, there are many subheadings. These factors enable the upper extremity to function and perform better. The variables used in this study are selected and evaluated by considering the important components of this function.

This scope of work is to analyze the upper limb performance of chronic neck pain patients in the field of physical therapy and rehabilitation using the Response Surface Models (RSM) and Artificial Neural Network (ANN) on a real data set which was collected in different clinics in Ankara. The performance of upper limb is assigned as the response variable. Input variables are taken as the variables related the pain-rating scales of patients at rest or in activity. The input variables are visual analog scale (VAS) at rest, at activity and at night, Copenhagen Neck Functional Disability Scale (NFDS), upper extremity power, upper extremity endurance. The RSM is implemented to estimate the most appropriate model. The ANN approach is also applied to upper limb performance data to estimate which variables are statistically significant on the upper limb performance. In recent years, ANN has become a widely used analysis, therefore it has been a matter of curiosity whether ANN or RSM, which is a classical method, will give better results in the evaluation of upper limb performance data in patients with chronic neck pain. In this study we compare six models and the results of ANN and RSS on a real data set.

II. MATERIAL AND METHOD

2.1. Response Surface Model

Response surface model (RSM) is used to reveal the effect of the factors (explanatory variables) on the response variable and to find the value(s) that make the response variable maximum or minimum [6]. This method consists of a series of mathematical and statistical techniques used to describe the relationship between response variable and explanatory variables. The first step in RSM is to determine the factors that are thought to have an effect on the response variables. After this step, experimental design, regression modeling and optimization techniques are used in the response surface method [7].

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (1)$$

where ε represents the noise or error observed in the response y and X 's are observed values. The surface represented by $\eta = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ is called a response surface and it is assumed to have a function of X_i 's ($i = 1, 2, \dots, k$). Function f is response function of explanatory variables.

One of the aims of the response surface research is to determine the functional relationship between the explanatory variables and the actual response η according to the experimental results. Besides, the objective is to find the variables that make this function maximum or minimum. The response can be represented graphically, either in the three-dimensional space or as contour plots that help visualize the shape of the response surface. The application of RSM to design optimization is aimed at reducing the cost of

expensive analysis methods and their associated numerical noise [8].

In general, the first-order model in terms of the coded variables is

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2)$$

the second-order model is

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j^2 + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3)$$

where, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ are regression coefficients.

The estimation of regression coefficients for the first-order model is obtained by Least Square Estimation (LSE) method [9].

2.2. Artificial Neural Networks

The ANN have been developed by inspired by the biological nervous system. Biological nerve cells communicate with each other through synapses and a nerve cell send the information it processes to other cells via axons. Similarly, artificial nerve cells collect information with a sum function and pass through the activation function. Thus, these cells produce output and send it to other cells over the network's connections. ANN's are successfully applied in the following subjects, similar to the functional features of the human brain; learning, association, classification, prediction and optimization [10].

A typical ANN model is considered as nonlinear statistical data modeling tools where the complex relationships between inputs and outputs are modeled or patterns are found. They reveal the recognition of patterns in complex data sets that cannot be detected with conventional linear statistical analysis.

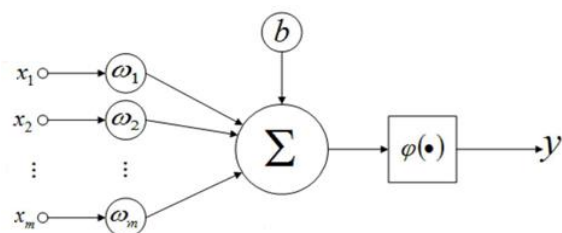


Figure 1: The general model of ANN followed by its processing [11]

The basic structure of ANN is given in Figure 1 and, it consists of an input layer, an output layer and, in between a hidden layer. The layers are connected via nodes and these connections from a network of interconnected nodes. In the ANN structure, \mathbf{Y} is $n \times 1$ matrix of outputs, \mathbf{W} is $n \times m$ matrix of weights, \mathbf{X} is $m \times 1$ matrix of starting inputs and **Bias** is $n \times 1$ matrix of neuron biases and activation

function is represented by $\varphi(\cdot)$.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{2,1} & w_{3,1} & w_{4,1} & w_{5,1} \\ w_{1,2} & w_{2,2} & w_{3,2} & w_{4,2} & w_{5,2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Bias_1 \\ Bias_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

In a ANN model, the data received from external environment is connected to processing area via weights and these weights determine the effect of the relevant input. The sum function calculates the net input and this input is a result of the product of the weights associated with the inputs. The activation function calculates the net output during the process and this process also gives the neuron output [7].

ANN can also be displayed in matrix format, as in Equation (4). For example; $w_{4,2}$ denotes the weight in the connection between Input 4 and Neuron 2.

The weights are selected in the neural network framework using a “learning algorithm” that minimizes a “cost function” such as the MSE, MAE or MAPE. Negative weights mean increasing this input will decrease the output. A weight decides how much influence the input will have on the output.

III. REAL DATA ANALYSIS

This study is based on a real data set which consists of upper limb performances. The upper limb performance is examined on 63 patients with chronic neck pain volunteer patients evaluated in different clinics in Ankara [12]. The response variable is taken as the Upper Extremity Functional Index (UEFI-20). This index measures disability in people and it takes the value between [0,80] [13]. A lower score “0” indicates that the person is reporting increased difficulty with the activities as a result of their upper limb condition. The input variables are related the pain-rating scales of patients which are visual analog scale (VAS) at rest [0,10], visual analog scale at activity [0,10], visual analog scale at night [0,10], Copenhagen Neck

Functional Disability Scale(NFDS) [0,30], upper extremity endurance, upper extremity power. The first three variables are related to the VAS and in this scale, “0” represents that patient has no pain while 10 shows worst pain [14]. In Copenhagen scale, a value of 0 represents a minimal disability and 30 is a maximal disability [15]. Last two variables are upper extremity endurance and power; they are related two question “How long can you carry 1 kg?” and “How many kg can you carry?”, respectively. Thus, while endurance deal with time, power is concerned with maximum weight.

In this study, six models are constructed for the RSM and ANN. The First and Second models include all input variables and they are referred as full RSM and full ANN. Then, the significant variables obtained according to the RSM results are tested in the Third and Fourth models in RSM and ANN. They are called as “RSM and ANN with important variables from full RSM”. The last two models to be tested in the RSM and ANN are built by using important variables obtained from ANN. These models are expressed as “RSM and ANN with important variables from full ANN”. The models and variables used in the analysis are given in Table 1. The model results of these six models are compared in terms of R^2 , R^2_{adj} and Mean Absolute Error (MAE).

In ANN, 70% of the data set is divided into training and 30% as test set according to the relative number of cases. While hyperbolic tangent is used as hidden layer activation function, identity was used for output layer activation function. In order to improve network training, scale covariates are rescaled and the type of this rescaling are standardized. Batch training type is used as it is more useful in small data sets. Besides these, optimization algorithm is scaled conjugate gradient.

The models given in Table 1 constructed with the help of relevant variables. The first model is RSM with all input variables and the result of this model is given in Table 2.

Table 1. Models for the RSM and ANN

Models	Variables used in the model
Model 1	VAS at rest, VAS at activity, VAS at night, Copenhagen NFDS, Upper extremity power, Upper extremity endurance
Model 2	VAS at rest, VAS at activity, VAS at night, Copenhagen NFDS, Upper extremity power, Upper extremity endurance
Model 3	VAS at activity, Copenhagen NFDS, Upper extremity power
Model 4	VAS at activity, Copenhagen NFDS, Upper extremity power
Model 5	Copenhagen NFDS, Upper extremity power
Model 6	Copenhagen NFDS, Upper extremity power

Table 2. Regression analysis of full RSM (Model 1) for UEFI-20

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	6611.5	1101.92	11.63	0.000*
Linear	6	6611.5	1101.92	11.63	0.000*
VAS at rest	1	350.1	350.08	3.69	0.060+
VAS at activity	1	470.1	470.07	4.96	0.030*
VAS at night	1	206.2	206.18	2.18	0.146
Copenhagen NFDS	1	2098.8	2098.85	22.15	0.000*
Upper extremity power	1	930.0	929.96	9.82	0.003*
Upper extremity endurance	1	1.2	1.22	0.01	0.910
Error	56	5305.9	94.75		
Total	62	11917.4			

UEFI-20=60.59+1.398*VAS at rest- 1.421* VAS at activity - 0.928*VAS at night- 1.324*Copenhagen NFDS + 0.0485*Upper extremity power+ 0.040* Upper extremity endurance

$R^2 = 55.48\%$, $R_{adj}^2 = 50.71\%$, MAE=7.21

The important variables are “VAS at activity”, “Copenhagen NFDS” and “upper extremity power”. VAS at activity and Copenhagen NFDS have negative effect while upper extremity power has positive effect on UEFI-20. Since high values of VAS and NFDS mean that the patients have severe pain and maximum weakness, its inverse relationship with UEFI-20 indicates that these patients have difficulty moving. The interpretation of VAS at activity and Copenhagen NFDS coincides with the results of the study conducted by Özsoy, (2019). The author stated statistically significant negative relation between these two variables and UEFI-20. The positive relationship with power indicates that the more weight patients can carry, the more mobility they have.

The second model is ANN with all input variables and the results of this model given in Table 3.

According to the normalized importance, the variables with importance greater than fifty percent are Copenhagen NFDS and upper extremity power. These variables can be expressed as important variables that best explain the UEFI-20. Thus, these two variables are used in the following models.

Table 3. Independent variable importance of full ANN (Model 2)

	Importance	Normalized Importance
VAS at activity	0.111	36.3%
VAS at rest	0.113	37.2%
Copenhagen NFDS	0.270	88.6%
Upper extremity power	0.305	100.0%
VAS at night	0.095	31.2%
Upper extremity endurance	0.106	34.8%

$R^2 = 58.18\%$, $R_{adj}^2 = 53.70\%$, MAE=6.80

In Figure 2, the comparison of RSM and ANN prediction is given by line graph. The line running close to the target line has better predictions. As given in Figure 2, the line of ANN prediction is moving closer to the target line, which means that the ANN predictions fit better than the RSM.

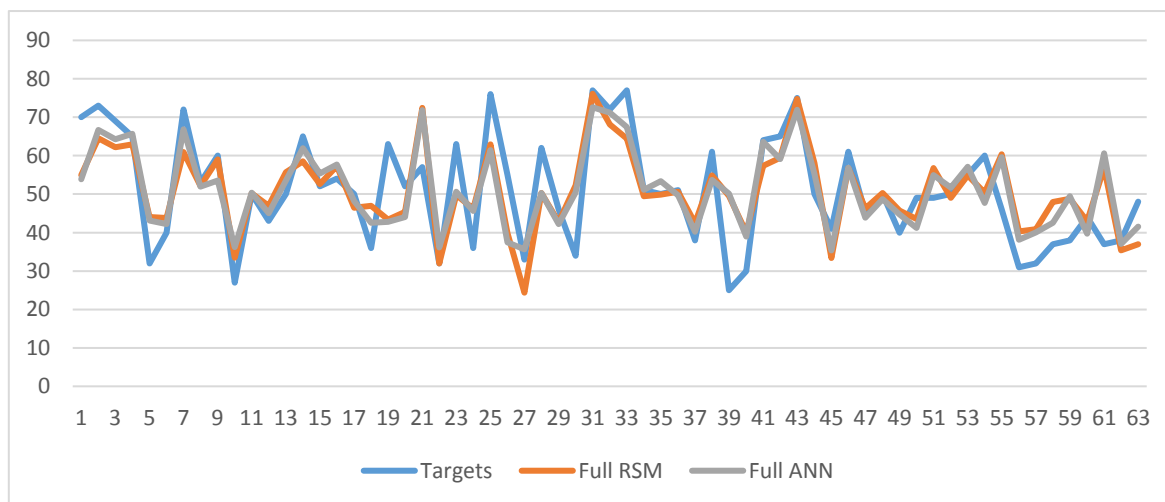


Figure 2. Comparison of full RSM and full ANN predictions

R^2 and R_{adj}^2 of RSM (ANN) are 55.48% (58.18%) and 50.71% (53.70%), respectively. As visually indicated in Figure 2, the prediction of RSM model has a greater deviation than the prediction of ANN model (MAE of RSM=7.21, MAE of ANN=6.80). The high value of R^2 or R_{adj}^2 and low value of MAE obtained for ANN

model is indicative of its better fit.

Third model is constructed by the variables that are important in the RSM results created by using all variables.

Table 4. Regression analysis of RSM with important variables from full RSM (Model 3)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	6217.3	2072.44	21.45	0.000*
Linear	3	6217.3	2072.44	21.45	0.000*
VAS at activity	1	505.7	505.67	5.23	0.026*
Copenhagen NFDS	1	2281.0	2281.04	23.61	0.000*
Upper extremity power	1	1224.6	1224.63	12.68	0.001*
Error	59	5700.1	96.61		
Total	62	11917.4			

$$UEFI-20 = 59.37 - 1.193 * \text{VAS at activity} - 1.279 * \text{Copenhagen NFDS} + 0.0531 * \text{Upper extremity power}$$

$R^2 = 52.17\%$, $R_{adj}^2 = 49.74\%$, MAE=7.31

All variables used in this model are statistically significant and VAS at activity and Copenhagen NFDS have negative effect on UEFI-20 while upper extremity power has positive effect. As stated in the Model 1 results, patients who experience severe pain and

maximum weakness during activity have difficulty during movement. The increase in the amount of weight that the patient can carry means that the mobility is also high.

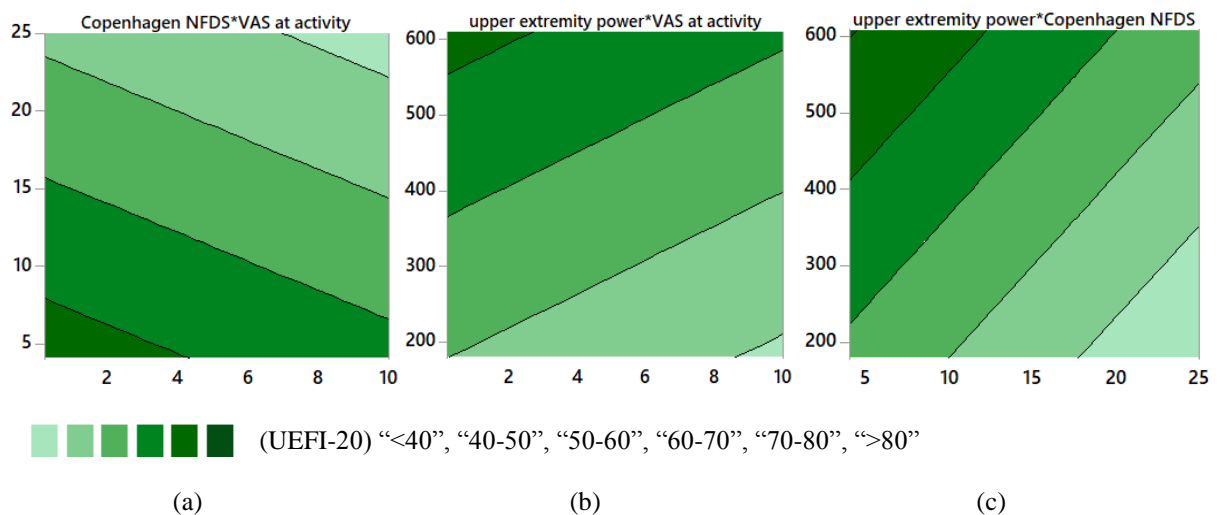


Figure 3. Contour plots of UEFI-20 vs Copenhagen NFDS*VAS at activity (a), upper extremity power*VAS at activity (b) and upper extremity power*Copenhagen NFDS (c)

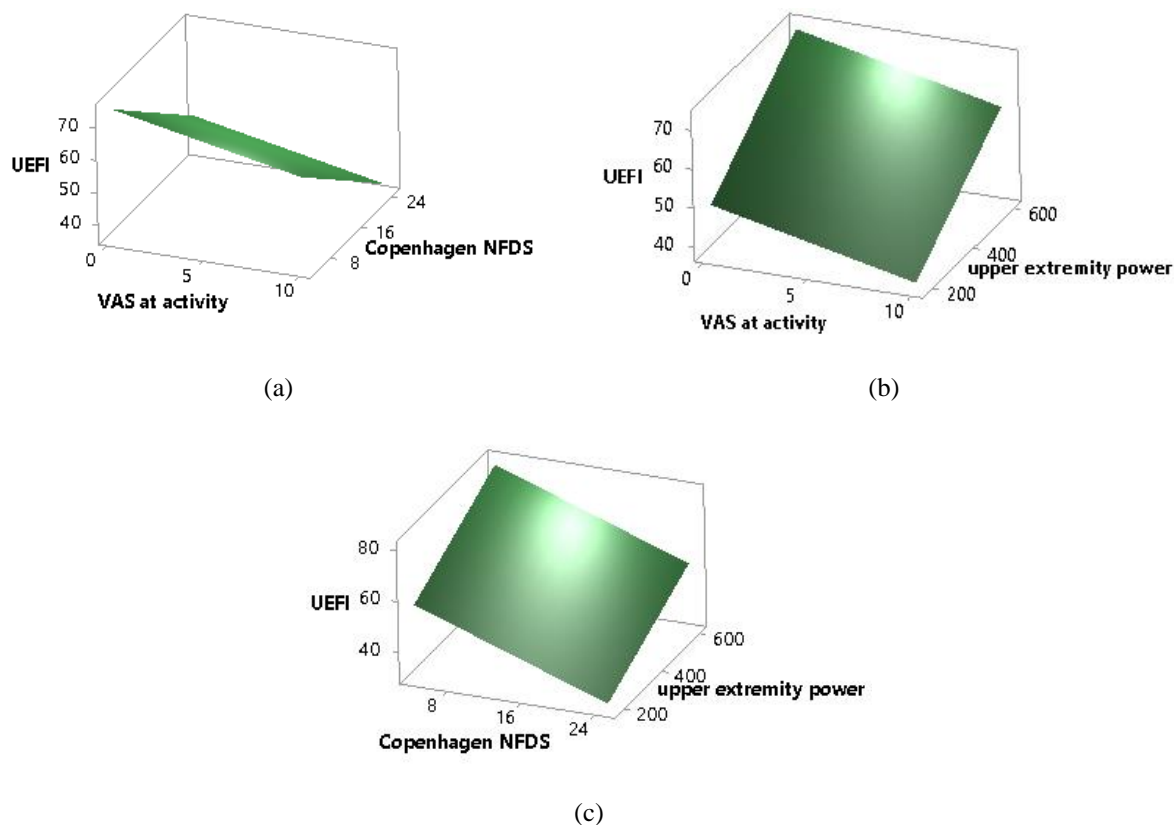


Figure 4. Surface plots of UEFI-20 vs Copenhagen NFDS*VAS at activity (a), upper extremity power*VAS at activity (b) and upper extremity power*Copenhagen NFDS (c)

In Figure 3 and Figure 4, the contour and surface plots of UEFI-20 vs other variables are given. UEFI-20 score is graded by color. A lower score 0 indicates that the person is reporting increased difficulty with the activities as a result of their upper limb condition. As the color is lightened, the patient's mobility is limited i.e. UEFI-20 score decreases. Where the Copenhagen score and VAS at activity are high, the UEFI-20 takes the minimum value. This means that the patient has difficulty in movement while having maximal disability and suffering worst pain at activity. Where the upper extremity power is low and VAS at activity is high, the UEFI-20 takes the minimum value. The patient experience maximum difficulty in movement when the weight that the patient can carry is low and the pain in activity is high. Where the upper extremity power is low and Copenhagen is high, the UEFI-20 takes the minimum value. If the weight that the patient can carry is low and the patient has maximum disability, the patient still has difficulty in movement.

In fourth model, ANN is constructed by the significant variables taken from full RSM and the results are given in Table 5. All three variables are more important since their percentage of importance greater than 50. In other words, VAS at activity, Copenhagen NFDS and upper extremity power make an important contribution in

explaining the UEFI-20.

Table 5. Independent variable importance of ANN with important variables from full RSM (Model 4)

	Importance	Normalized Importance
VAS at activity	0.218	51.5%
Copenhagen NFDS	0.359	85.0%
Upper extremity power	0.423	100.0%

$$R^2 = 57.94\%, R_{adj}^2 = 55.80\%, MAE = 6.79$$

The line graph of predicted values of full RSM and ANN is given in Figure 5. Although the RSM and ANN predictions seem very similar, the model closer to target is ANN. MAE values are the biggest indicator of the line graph of prediction and the MAE value for ANN has a smaller value than that of RSM (MAE of RSM=7.31, MAE of ANN=6.79). The prediction of RSM model has a greater deviation than the prediction of ANN model. R^2 and R_{adj}^2 of RSM (ANN) are 52.17% (57.94%) and 49.74% (55.80%), respectively. The high value of R^2 or R_{adj}^2 and low value of MAE obtained for ANN model is indicative of its better fit.

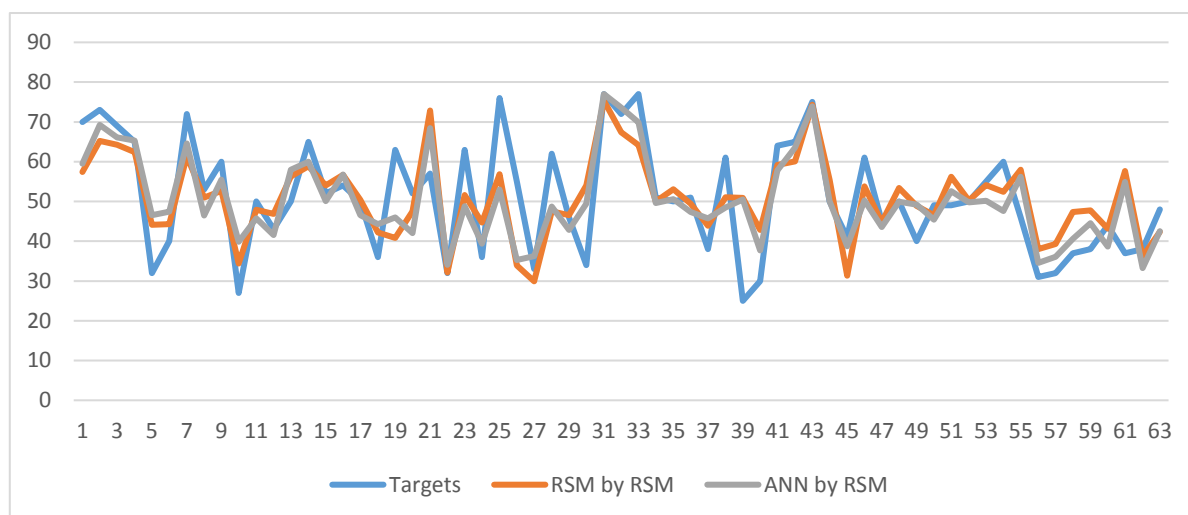


Figure 5. Comparison of RSM by RSM and ANN by RSM predictions

The fifth model is RSM obtained by the variables that are important in the model where all variables are used in ANN. The results from the fifth model are given in Table 6.

Copenhagen NFDS has negative effect on UEFI-20 while upper extremity power has positive effect. In line with previous comments, as the amount of weight the patient can carry increases or the patient’s weakness decreases, their mobility increases.

We can see from Table 6, all variables used in the model are statistically significant at %1 and

Table 6. Regression analysis of RSM with important variables from full ANN (Model 5)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	5712	2855.8	27.61	0.000*
Linear	2	5712	2855.8	27.61	0.000*
Copenhagen NFDS	1	3101	3100.5	29.98	0.000*
Upper extremity power	1	1515	1514.8	14.65	0.000*
Error	60	6206	103.4		
Total	62	11917			

UEFI-20 = 52.24 - 1.438*Copenhagen NFDS + 0.0584*Upper extremity power

$R^2 = 47.93\%$, $R^2_{adj} = 46.19\%$, MAE=7.76

The surface and contour plot of UEFI-20 are given in Figure 6. The minimum value of UEFI-20 score represents the difficulty with the activities. As the color in contour graph changes from blue to green means that the degree of difficulty with the activities is decreasing.

Where the upper extremity power is low and Copenhagen NFDS is high, the UEFI-20 takes the minimum value. In other words, as the amount of weight carried is low or the level of disability increases in patients, the difficulty in movement increases.

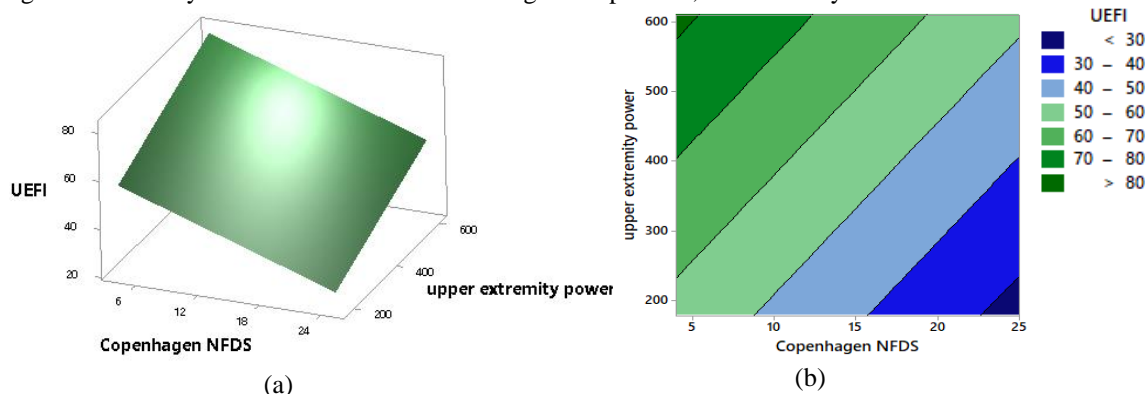


Figure 6. Surface plot (a) and contour plot (b) of UEFI-20 vs upper extremity power and Copenhagen NFDS

In Model 6, the variables with a percentage of significance greater than fifty in full ANN are used. Copenhagen NFDS and upper extremity power are found as important variables. It can be expressed as important variables used to describe UEFI-20.

Table 7. Independent variable importance of ANN with important variables from full ANN (Model 6)

	Importance	Normalized Importance
Copenhagen NFDS	0.587	100.0%
Upper extremity power	0.413	70.4%

$$R^2 = 52.17\%, R_{adj}^2 = 50.57\%, MAE = 7.29$$

The prediction graph of the RSM and ANN models constructed by using important variables in ANN where all variables are used are given in Figure 7. As in Figure 5, the line graphs of RSM and ANN predictions are very close to each other. However, as can be understood from the MAE values, the ANN line fluctuates more similar to the target compared to the RSM.

The R^2 and R_{adj}^2 of RSM (ANN) values are 47.93% (52.17%) and 46.19% (50.57%), respectively. The high value of R^2 and R_{adj}^2 obtained for ANN model is indicative of its better fit. The prediction of RSM model has a greater deviation than the prediction of ANN model (MAE of RSM=7.76, MAE of ANN=7.29).

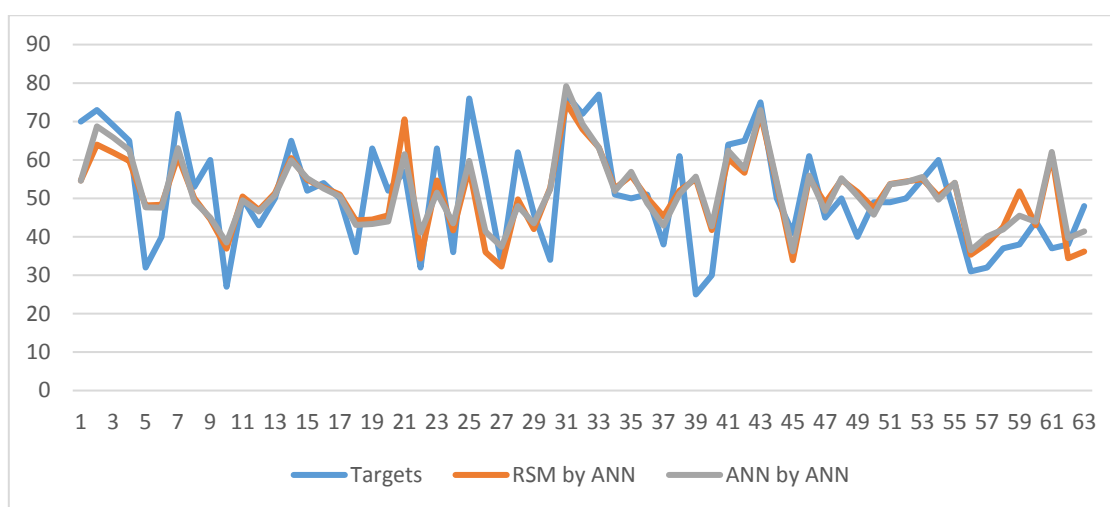


Figure 7. Comparison of RSM by ANN and ANN by ANN predictions

Table 8. Comparison of the model results

		R^2	$R^2(\text{adj})$	MAE
Model 1	Full RSM	55.48%	50.71%	7.21
Model 2	Full ANN	58.18%	53.70%	6.80
Model 3	RSM with important variables from full RSM	52.17%	49.74%	7.31
Model 4	ANN with important variables from full RSM	57.94%	55.80%	6.79
Model 5	RSM with important variables from full ANN	47.93%	46.19%	7.76
Model 6	ANN with important variables from full ANN	52.17%	50.57%	7.29

The comparison of all models is given in Table 8. ANN models have high R^2 and R_{adj}^2 , and low MAE; when all variables are used in Model 2, when the model is established on the important variables obtained as a result of RSM using all variables in Model 4, when the model is set up with variables with a percentage of significance over fifty in the ANN model where all variables are used. Briefly, it was concluded that the ANN models among the established models have high explainability and less deviation.

IV. RESULTS

In this study, RSM and ANN models are applied to a real data set to determine the important variables affecting UEFI-20. The variables used in the models are determined in following steps: First of all, all variables are put into the model and then new models are established according to the important variables (obtained from ANN and RSM, respectively) that are important in the results of these models. Finally, six model are implemented, and these models and their results are given in Table 8.

The results of this study support the results of the previous studies. For instance, Kiran et.al (2008) compared the ANN and RSM in fermentation media optimization and they showed the superiority of ANN in capturing the nonlinear behavior of the system [16]. It can be stated that ANN have worked better than RSM model in some studies [17, 18, 19, 20].

In this study conducted on patients with chronic neck pain, which is one of the common problems in daily life, the factors affecting the upper extremity functional index are examined. For this purpose, RSM and ANN are applied with the use of various variables in order to predict important variables and to decide which model gives better results. Thus, the performance of ANN and RSM models are evaluated by R^2 , R_{adj}^2 and MAE.

According to the results of all six models, ANN predictions fit the targets line better than RSM since MAEs of ANN are smaller than those of RSM. Besides, R^2 and R_{adj}^2 of ANN are greater than those of RSM.

The prediction of ANN model has a smaller deviation than the prediction of RSM model. The predicted values by ANN has a low percent of error for predicting UEFI-20 values. The most significant variables on UEFI-20 score in all models are Copenhagen NFDS and upper extremity power.

REFERENCES

- [1] Akın Takmaz, S., (2017). Kronik bel-boyun ağrılı hastaya yaklaşım ve değerlendirme yöntemleri. *TOTBİD Dergisi*, 16, 81–88.
- [2] Gilroy, A.M., (2015). Anatomı temel ders kitabı, (çev: C. Denk), 1. baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, pp. 21-39 & 234-240.
- [3] Jaspers, E., Desloovere, K., Bruyninckx, H., Klingels, K., Molenaers, G., Aertbeliën, E., Van Gestel, L., & Feys, H., (2011). Three-dimensional upper limb movement characteristics in children with hemiplegic cerebral palsy and typically developing children. *Res Dev Disabil.*, 32(6), 2283–2294.
- [4] Barela, A.M.F., & Almeida, G.L., (2006). Control of voluntary movements in the non-affected upper limb of spastic hemiplegic cerebral palsy patients. *Braz J Phys Ther*, 10(3), 325–332.
- [5] Huisstede, B.M., Bierma-Zeinstra, S.M., Koes, B.W., & Verhaar, J.A., (2006). Incidence and prevalence of upper-extremity musculoskeletal disorders. A systematic appraisal of the literature. *BMC Musculoskeletal Disord.*, 7, 7.
- [6] Box, G.E.P., & Draper, N., (2007). Response surfaces, mixtures, and ridge analyses, second edition [of *Empirical Model-Building and Response Surfaces*, 1987], Wiley.
- [7] Baş, C., (2010). Cevap yüzeyi tasarımları ve sinir ağları yaklaşımı. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Türkiye, pp. 6-51.
- [8] Cornell, J.A., (2002). Experiments with mixtures: Designs, models, and the analysis of mixture data (third ed.), Wiley.
- [9] Khuri, A.I., & Cornell, J.A., (1996). Response surfaces: Designs and analyses, second edition, Dekker, New York.
- [10] Öztemel, E., (2003). Yapay sinir ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, pp. 29-57.
- [11] Ahire, J.B., (2018). The Artificial Neural Networks handbook: Part 4, <https://medium.com/@jayeshbahire/the-artificial-neural-networks-handbook-part-4-d2087d1f583e>, (January 2020).
- [12] Özsoy, H., (2019). Kronik boyun ağrılı bireylerde boyun ağrı ve özür şiddeti ile üst ekstremitte performansı arasındaki ilişkinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye, pp. 26-31.
- [13] Stratford, P.W., Binkley, J.M., & Stratford, D.M., (2001). Development and initial validation of the Upper Extremity Functional Index. *Physiother Can*, 53(4), 259–267.
- [14] Cavlak, U., Baş Aslan, U., Yagci, N., & Altuğ F., (2015). Kronik muskuloskeletal ağrının fizyoterapi-rehabilitasyon ile yönetimi. *Türkiye Klinikleri J Physiother Rehabil-Special Topics*, 1(1), 70-90.
- [15] Jordan, A., Manniche, C., Mosdal, C., & Hindsberger, C., (1998). The Copenhagen Neck Functional Disability Scale: a study of reliability and validity. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 21(8), 520 – 527.
- [16] Desai, K.M., Survase, S.A., Saudagar, P.S., Lele, S.S., & Singhal R.S., (2008). Comparison of artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM) in fermentation media optimization: Case study of fermentative production of scleroglucan. *Biochemical Engineering Journal*, 41(3), 266-273.
- [17] Lou, W., & Nakai, S., (2001). Application of artificial neural networks for predicting the thermal inactivation of bacteria: a combined effect of temperature, pH and water activity. *Food Research International*, 34(7), 573–579.
- [18] Bourquin, J., Schmidli, H., van Hoogevest, P., & Leuenberger, H., (1998). Advantages of Artificial Neural Networks (ANNs) as alternative modeling technique for data sets showing non-linear relationships using data from a galenical study on a solid dosage form. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7(1), 5–16.
- [19] Agatonovic-Kustrin, S., Zecevic, M., Zivanovic, L., & Tucker, I.G., (1998). Application of artificial neural networks in HPLC method development. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 17(1), 69–76.
- [20] Baş, D., & Boyacı, I., (2007). Modeling and optimization II. Comparison of estimation capabilities of response surface methodology with artificial neural networks in a biochemical reaction. *J. Food Eng.*, 78(3), 846–854.