

Elektro Çekim Yöntemi ile Çörek Otu ve Yün Yağı Takviyeli Yara Örtüsü Geliştirilmesi

Black Seed and Wool Oil (Lanolin) Reinforced Wound Dressing Development by Electrospinning Method

Erdem ŞAHİN , Canberk ELMALI , Derya Saltık ÇİRKİN , Muhammet UZUN 

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, 34722, İstanbul/TÜRKİYE

Öz

Hayvansal liflerin en önemlisi olan yün 100% ya da karışım olarak kullanılmaktadır. Yapısal özelliklerinden dolayı günlük hayatta kullanıldığı gibi teknik tekstil uygulamaları da vardır. Bu çalışma kapsamında yün üretimi sırasında açığa çıkan yan ürün (by-product) olan yün yağı (lanolin) katma değeri yüksek tıbbi tekstil üretiminde kullanılmıştır. Yapılan üretim sırasında geliştirilen yara örtüsüne ek özellik katmak için çörek otu tohum yağı takviye edici olarak kullanılmıştır. Literatürde açıkça belirtildiği üzere çörek otu tohumları ve çörek otu yağı insanlar üzerinde denenmiş ve insan sağlığına pozitif etkisi kanıtlanmıştır. Çörek otunun hastalıkları tedavi ve önleme dışında yara iyileştirme etkisinin olduğu gözlenmiştir. Yara iyileşme süreci birbirini izleyen karışık bir süreçtir ve doğru içerikli ve özellikli yara örtüsünün kullanılması bu süreci kısaltacaktır. Çeşitli yara örtüsü tipleri vardır, bunlar; anti bakteriyel, aljinat, kompozit, hidrojel vb. Son yıllarda yapılan araştırmalar electrospinning tekniği ile üretilen nanolif yara örtülerinin önemini göstermektedir. Elektro çekim tekniği genel olarak, belirli derişimlerde oluşturulan polimer çözeltisine küçük akış hızları altında, kV düzeyinde bir elektrik kuvveti uygulayarak polimer çözeltiden nano boyutlu liflerin oluşmasına imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada elektro eğirme tekniği ile yün yağı ve çörek otu yağından nanolif yapıları üretilmiştir. Yün yağı ve çörek otu yağının yanında çözücü olarak Diklorometan ve Dimetilformamid, polimer olarak Polilaktik asit, kullanılmıştır. Değişik konsantrasyonlarda; PLA/Yün/Çörek otu yağı karışımı sırasıyla 99/0.5/0.5, 98/1/1, 96/2/2, 90/5/5 ve 80/10/10 oranlarında çözeltiler oluşturulmuştur. Yün ve çörek otu yağı, çözelti içerisinde 50/50'lik oranda kullanılmıştır. Oluşturulan çözeltilerin üretime başlamadan önce viskozite ölçüm cihazı ve iletkenlik ölçüm cihazı ile akışkanlık ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Sonuç olarak elektro eğirme yöntemiyle yün ve çörek otu yağı karışımından başarılı bir şekilde nanolif esaslı yapı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanolif, elektro-çekim yöntemi, çörek otu yağı, yün yağı, by-product, yara örtüsü

Abstract

Wool, which is the most important of animal fibers, is used as 100% or as a blend in textile protection. Thanks to its structural features, there are technical textile applications as well as used in daily life. Within the scope of this study, wool oil (lanolin), a by-product occurs during the wool processing, was used in the production of medical textiles with high added value. Black seed oil was used as a supplement to add further properties to the developed wound dressings. As clearly stated in the literature, Nigella Sativa seeds and Nigella Sativa oil have been tested on humans and their positive effect on human health has been well established. It has been observed that black seed has a wound-healing effect apart from the treatment and prevention of diseases. The wound healing process is a successive mixed process, and the use of wound dressing which has a correct content and feature will shorten this process. There are various types of wound dressings, these are; antibacterial, alginate, composite, hydrogel etc. Recent researches show the importance of nanofiber wound dressings produced with the electrospinning technique. The electrospinning technique generally enables the formation of nanoscale fibers from the polymer solution by applying an electric force at the kV level under small flow rates to the polymer solution formed at certain concentrations. In this study, a nanofiber structure was developed and produced from wool oil and black seed oil with the electrospinning technique. In addition to wool oil and black seed oil, Dichloromethane and Dimethylformamide were used as solvents, and Polylactic acid was used as the polymer. In different concentrations; PLA / Wool / Black seed oil mixture solutions were formed in the ratio of 99/0.5/0.5, 98/1/1, 96/2/2, 90/5/5 and 80/10/10 respectively. Wool and black seed oil are applied to the solution at a rate of 50/50. Fluidity and conductivity values of

the formed solutions were measured with the viscosity meter and conductivity meter before starting production. As a result, a nano-fiber-based structure was successfully obtained from the blend of wool and black seed oil by using the electrospinning method.

Keywords: Nanofibers, electro-spinning method, black seed oil, wool oil, by-product, wound dressing

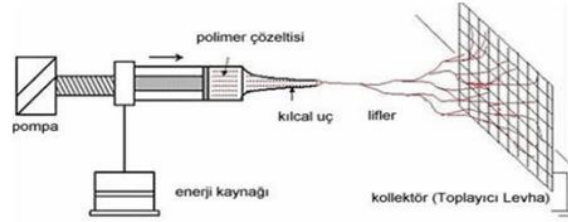
1. GİRİŞ ve AMAÇ

Nano boyuttaki malzemelerin geliştirilmesi sağlık uygulamalarında daha iyi tedavi imkanları sağlamaktadır. Yara iyileşmesini hızlandıran nano teknolojik malzemelerin günümüzde kullanılan birçok malzemenin yerine kullanılacağı düşünülmektedir. Nanolif elde etme tekniği olan elektro eğirme yöntemi, elektriksel ve hidrodinamik kuvvetlerin etkisinde malzemelere şekil verme işlemi olarak bilinmektedir. Elektro çekim tekniği nano boyutlarda liflerin eldesinde kullanılan basit, kurulumu maliyeti düşük, kolay ve hızlı, çok değişik polimerlerin işlenmesine elverişli, ticari üretime uygun bir tekniktir. Sıvı ve polimerin elektriksel olarak yüklenmesi bir toplayıcı üzerinde dağınık halde nanoliflerin toplanması temeline dayanan elektro çekim tekniği bilinen en yeni ve en kullanışlı nanolif elde etme yöntemidir. Literatürde çokça uygulama örneği vardır ve ticari üretim olanakları sunan bir üretim hattına dönüşmüştür. Elektro eğirme işlemi etkileyen birçok değişken vardır. Bu değişkenler çözeltiliye ait, işleme ait ve çevresel değişkenler olarak ayrılır. Çözeltiye ait parametreler; viskozite, iletkenlik, yüzey gerilimi, çözeltinin konsantrasyonu, moleküler ağırlıklarıdır. İşleme ait değişkenler voltaj, besleme oranı, besleme hızı, düze ve toplayıcı arasındaki mesafe şeklindedir. Çevresel değişkenler ise çevre sıcaklığı ve nem miktarıdır. Bu çalışma kapsamında, elektro eğirme tekniği ile yün yağı ve çörek otu yağının kullanıldığı nanolif elde etme işleminde farklı konsantrasyonlarda kullanılan malzemelerin üretilen üründe gösterdiği değişimlerin incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Atık halde bulunan yün yağının kullanılmasını önemli bir geri dönüşüm uygulamasıdır. Geri dönüşümlü katma değeri yüksek ürün tasarımına iyi bir örnek olacağı düşünülmektedir.

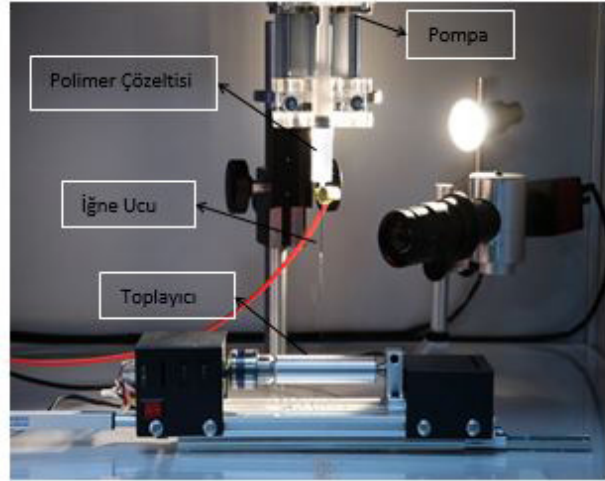
1.1. Elektro Çekim Tekniği ile Nanolif Üretimi

Elektro çekim yöntemi temel olarak, belirli konsantrasyonlarda hazırlanan polimer çözeltisine düşük akış hızları altında, kV mertebesinde bir elektrik kuvveti uygulayarak polimer çözeltinin nano boyutlu liflere dönüştürülmesini kapsamaktadır. Elektro çekim cihazı temel olarak 3 bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm besleme bölümüdür. Bu bölümde pompa, enjektör, besleme kablosu ve nozzle bulunmaktadır. İkinci bölümde kV mertebesinde bir elektrik

kuvveti sağlayacağımız güç kaynağı bulunmaktadır. Üçüncü bölümde ise nanolifleri üzerinde toplayacak belirli hızlarda dönen topraklanmış silindir ya da sabit olan bir topraklanmış plaka toplayıcı mekanizması vardır. Şekil 2’de elektro çekim cihazının temel bölümleri görülmektedir.



Şekil 1. Elektro çekim metodu şematik gösterimi



Şekil 2. Elektro çekim cihazı temel kısımları

Belirli hızlarda enjektörden gelen polimer çözeltisi adezyon kuvveti yardımıyla nozzle ucunda bir kürecik meydana getirir. Uygulanan gerilim bu küreciğin koni (Taylor Konisi) şeklini almasını sağlar ve gerilim polimer çözeltisinin yüzey gerilimini ve visko-elastik kuvveti eşliğini aştığı zaman polimer çözeltisinin oluşturduğu küreciklerden toplayıcıya doğru Şekil 1’de görüldüğü gibi jet akışı oluşumu başlar. [1]

İndüklenen polimer çözeltisi toplayıcı plakaya doğru incelecekle uzar ve ayrışır. Bu işlem polimer çözeltisi bitene kadar ya da istenilen miktara kadar devam eder ve nano yapı, toplayıcı plaka üzerinde birikerek nanolif elde edilir.

1.2. Elektro Çekim Yönteminin Tıbbi Tekstilde Kullanımı

Elektro çekim yöntemi ile elde edilen nanoliflerin kullanım alanı oldukça geniştir. Bunlara örnek olarak; kompozitler, filtrasyon uygulamaları, tıbbi uygulamalar, uzay uygulamaları, savunma uygulamaları, elektriksel ve optik

uygulamalar, tarım uygulamaları ve diğer uygulamalar yer almaktadır.

Tekstil teknolojisi ve tıp bilimlerinin birleşimi, medikal tekstil denilen yeni bir alana yol ortaya çıkarmıştır.

- Tıbbi tekstiller aynı zamanda ‘Sağlık Tekstilleri’ olarak da bilinir.
- Tıbbi tekstiller tekstil pazarında en hızlı büyüyen sektörlerden biridir.
- Büyümenin boyutu hem tekstil teknolojisindeki hem de tıbbi prosedürlerdeki sürekli iyileştirmeler ve yeniliklerden kaynaklanmaktadır.
- Özel ihtiyaçları karşılamak üzere tasarlanan tekstil malzemeleri ve ürünleri; esneklik ve bazen nem ve hava geçirgenliği kombinasyonunun gerekli olduğu herhangi bir tıbbi ve cerrahi uygulama için uygundur.
- Kullanılan malzemeler arasında normal ve özel biyolojik olarak çözünebilen iplikler, monofilament ve multifilament iplikler, dokuma, örme ve nonwoven kumaşlar ve kompozit yapılar bulunur. [2]

Tablo 1’de, elektro çekim yönteminde farklı polimer maddelerin kullanılması ile elde edilen ürünler verilmektedir.

Tablo 1 Elektro çekimde kullanılan polimerler ve uygulamaları

Polimerler	Uygulamaları
Poly (glycolide) (PGA)	Nonwoven doku iskeleleri
Poly (laktik-coglycolid)(PLGA)	Biyomedikal uygulamalar, yara iyileştirici
Poly (kaprolaktone) (PCL)	Kemik doku mühendisliği
Poly (laktik) (PLLA)	3D hücre katmanı
Poliüretan (PU)	Nonwoven yara iyileştirici doku şablonu
Poli (etilen-covinil alkol) (PEVA)	Nonwoven doku mühendisliği iskelesi
Polistren (PS)	Cilt doku mühendisliği
Sindiyotaktik 1,2 polibütadiyen	Doku mühendisliği uygulamaları
Fibrinojen	Yara İyileştirici
Poly (vinil alkol) /selüloz asetat (PVA/CA)	Biyomateryaller
Selüloz Asetat	Emici membranlar/keçeler
Poly (vinil alkol)	Yara örtüleri
İpek fibroin,ipek/PEO	Doku İskelesi
İpek	Biyomedikal Uygulamalar
İpek fibroin	Yara iyileştirmek için doku iskelesi
İpek/Kitosan	Yara örtüleri
Kitosan/PEO	Doku iskelesi, yara iyileştirici
Jelatin	Yara iyileştirmek için doku iskeleleri
Hyaluronik asit (HA)	Medikal implant
Selüloz	Membran
Jelatin/Polianilin	Doku mühendisliği doku iskeleleri
Kollajen/Kitosan	Biyomateryaller

1.3.Tıbbi Uygulamalarda Kullanılan Tekstil Malzemeleri İçin Gereksinimler

- Biyo-uyumlu ve steril olmalıdır.
- Anti alerjik ve anti bakteriyel olmalıdır.
- Alkalilere, asitlere ve mikro organizmalara karşı iyi dirençli olmalıdır.
- İyi boyutsal kararlılık ve esneklik sahip olmalıdır.
- Kirlenmeye karşı dirençli veya kir içermez olmalıdır.
- İyi bir sıvı Emiciliğe / İticiliğe ve hava geçirgenliğine sahip olmalıdır.
- Elyaf rengi beyaz olmalıdır.
- Biyo bozunur ve Çevre dostu olmalıdır. [3]

1.4.Yaralar ve İyileşme Süreci

Yaralar çeşitli dış etkiler sonucunda vücut yapısında oluşan açılmalarlardır. Vücut yapısındaki hasarlanan dokunun tekrar onarılması yaranın iyileşme süreci olarak ifade edilir. Yaraların iyileşme süreçleri;

- İnflamasyon Fazı / 4 Gün
- Proliferasyon Fazı / Ay
- Olgunlaşma Fazı / Birkaç yıl

Olmak üzere 3 aşamada gerçekleşir.

Yaraya uygun yara örtüsünün seçimi ve kullanımı yara iyileşmesinde oldukça önemlidir. Yara örtüleri yaraya uygulandıktan sonra yaraya herhangi bir ilaç uygulanmasına, yaranın atmosfer ile temasının kesilmesine, yaranın absorblanmasına imkân sağlar. Kullanıma uygun bir yara örtüsü;

- Yaranın iyileşme hızını artırmalı
- Yaradaki oluşabilecek kokuyu engellemeli
- Ağrıyı azaltmalı
- Ciltte hasara neden olmamalı
- Ekonomik olarak uygun olmalıdır [4]

Yara örtüleri; yaralı bölgenin mikrop ve enfeksiyondan korunmasını sağlayan, iyileşme sürecine yardımcı olan medikal yöntem tekstil ürünleridir. Çok eski çağlardan itibaren, iyi bir yara iyileşmesi ve yaranın enfeksiyon kapmasını önlemek için uygun malzemeler kullanılmaya çalışılmış ve buna yönelik malzemeler geliştirilmiştir. 250’den fazla çeşidi bulunan yara ve yanık örtülerinin kullanımıyla, yara dokusundaki fazla eksudanın emiliminin ve nemli bir ortam sağlanmasının iyileşme sürecine katkı sağladığı bildirilmiştir. [5]

II. MATERYAL

Bu bölümde, yapılan çalışma boyunca kullanılan kimyasal ve uygulamayı destekleyici malzemelere yer verilmiştir.

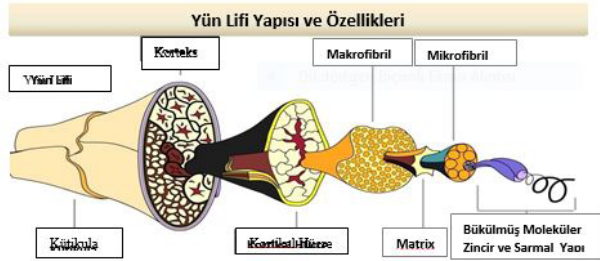
2.1.Yün Lifi

Yün lifinin kullanımı eski Mısırlılara ve Çinlilere kadar uzanmaktadır. Günümüzde ise teknik alanlarda hala kullanılmakta sadece yün olarak ya da karışım olarak da tercih edilmektedir.

Pamuktan sonra en çok kullanılan doğal lif yündür. Sağladığı ileri konfor ve teknik özelliklerinin çeşitli tekstil teknolojileri ve bitim işlemleri ile birleşmesiyle de teknik kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

2.1.1.Yün Liflerinin Yapısı

Yün lifi protein yapıda olup keratinden meydana gelmektedir. Yapısında 20 çeşit aminoasit bulunmaktadır. Yün lifi helisel formda bulunan bir zincir yapısına sahiptir. Yün lifleri diğer lifler ile kıyaslandığı zaman diğer sentetik ve doğal liflerden daha fazla moleküler arası çekime sahiptir.



Şekil 3. Yün lifinin enine kesitinin incelenmesi [25]

Gelişmesini tamamlamış bir yün lifin enine kesiti mikroskop altında incelenecek olursa, bunun üç tabakadan meydana geldiği görülür. Bu tabakalar Şekil 3’de görüldüğü gibi dıştan içe doğru kütikula, korteks ve medulladır. Her tabaka kimyasal ve histolojik yapı bakımından birbirinden farklıdır. Kütikula, lifin çevresini kaplayan pulcuk şeklindeki örtü hücrelerinden meydana gelen ince bir zarıdır.

Korteks tabakası yün liflerinin asıl maddesini teşkil eder. Merinos yünü gibi ince yünlerin içi tamamen bu tabaka ile doludur. Lifler tüm fiziksel ve kimyasal özelliklerini bu tabakadan alırlar. Bu tabakanın ilk bakışta iğ şeklinde uzunca, az veya çok bükülmüş ve boynuzlaşmış hücreler içerdiği görülür. Bu hücrelerin yapı taşları amino asitlerdir. Amino asitler, polipeptit halkalar halinde birleşerek makro molekülleri oluştururlar. Aslında bunlar birleşirken önce protofibriller ve bunlardan da mikrofibriller meydana gelir. En son da mikro fibriller birleşerek makro fibrilleri oluştururlar.

Medulla ise kaba liflerin orta kısımlarını dolduran kısımdır. Medulla içeren liflere daha çok yerli koyunlarımız gibi primitif koyunların yapağlarında (yünün üzerinde bulunan yün yağı, ter maddeleri ve deri döküntüleri) rastlanır. Bu tür lifler kaba ve kalın oldukları gibi, Medulla korteks tabakasının büyük kısmını işgal ettiğinden iyi boya almazlar. Tablo 2’de yün lifinde bulunan maddeler gösterilmiştir.

Tablo 2. Yün lifinde bulunan maddeler

Element	Yün Lifi	Örtü Hücreleri
Kükürt	3,5	4,83
Sistin	12,2	18,10
Azot	16,67	13,53
Arginin	8,60	4,30
Tyrozine	6,10	3,00
Serine	9,50	9,90
Etil Grupları	–	4,00
Kül	0,20	4,10
Lipit Maddeler	–	2,70

Kükürdün değişik oranlarda bulunması ve sistin bağının daha kuvvetli olması, örtü hücrelerinin alkalilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Bu nedenle sodyum sülfat korteks tabakasını daha çok etkiler. Ayrıca örtü hücreleri, enzimlerin parçalayıcı etkilerinden daha az zarar görürler. [6]

2.1.2. Yün Liflerinin Genel Özellikleri

- Antimikrobiyal Özelliği
- Güç Tutuşluluk Özelliği
- Hidrokarbonların Absorbsiyonu ve Filtrasyonu Özelliği

2.1.3. Yün Yağı (Lanolin-yün vaksı)

Lanolin, koyun yünü üzerinde bulunan kokulu soluk sarı doğal yağdır. Yün işlemede atık ürün olarak yün yağı, yün mumu ya da lanolin olarak da bilinir. Bu yağ doğal bir su iticidir. Temel olarak işlevi ise koyunları su geçirmez hale getirmektir. Lanolin ayrıca koyun derisini enfeksiyondan koruyan mantar önleyici ve anti bakteriyel özelliklere sahiptir. Hayvanın yağ bezlerinden türetilen lanolin %25-30 su karışımıdır. Yün yağı, kolesterol ve 18 ila 26 karbon atomu içeren ‘yağlı’ asitlerden türetilen esterler dahil olmak üzere birçok farklı kimyasal bileşiğin bir karışımıdır.

Lanolin ilaç ve kozmetik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Lanolin içindeki yağlar kimyasal bileşimde insan derisi tarafından salgılanan yağlara benzer. Dahası, cilt tarafından kolayca emilen, yumuşatan ve cildin kurumasını ve çatlamasını önleyen bir maddedir. Her ne

kadar lanolin bir yağ olarak adlandırılrsa da oda sıcaklığında katı halindedir. Yaklaşık 38-42 ° C (100-107 ° F) arasındaki bir sıcaklıkta erir. Su ile çözülmeyen bir yapıdadır, lanolini çözmek için kloroform ve eter kullanılmaktadır. [7]

2.1.4.Yün Yağının Kullanım Alanı

- Mükemmel bir su itici olduğundan, lanolin korozyon önleyici (paslanma sürecini yavaşlatan bir ajan) olarak otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.
- Yedek otomobil parçaları bazen uzun süreli depolamaya alındıklarında lanolin ile kaplanır.
- Kimyasal olarak insan derisi tarafından doğal olarak üretilen birçok yağa benzediğinden, ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Lanolin, ilaçları deri altından (yani derinin hemen altında) vermek için bir 'taşıyıcı' olarak kullanılmıştır.
- Lanolin deri kaplama ve koruyucu olarak da kullanılabilir.
- Bazı verniklerde ve boyalarda lanolin kullanılmaktadır.
- Güneş yanığını tedavi etmek ve önlemek için kullanılmaktadır.
- Kesiklerin, yaraların ve sıyrıkların iyileşmesini hızlandırmak için kullanılmaktadır.
- Gemi bağlantı elemanlarında korozyon önleyici olarak kullanılır.
- Ayakkabı cilası olarak kullanılmaktadır.
- Lanolin yağı insan vücudu ile biyo uyumlu bir yapıda olduğu için günümüzde genellikle tıbbi tekstil uygulamalarında tercih edilmektedir. [7]

2.2. Çörek Otu

Nigella sativa 20 ile 30 cm arasında uzama ile çiçek oluşumu gösteren bir türdür. Çörek otu düz, doğrusal bir yaprak yapısına sahiptir. Çörek otunun narin yapıdaki çiçekleri 5 ile 10 arasında değişim gösteren taç yapraklardan meydana gelmektedir.

Çiçeklerinin rengi genelde sarı, pembe, beyaz, mor renklerindedir. Çörek otunun meyve kısmı büyük olup kapsül yapısındadır ve kapsüllerde çok sayıda tohum mevcuttur. [8] [9].Tohumların siyah renkte olanları yayvan ve huni bir şekildedir. [8]

Çörek otunun tohumları baharat ve halk arasında bazı hastalıkların tedavi biçimi olarak görülmektedir. Orta Doğu ve Uzak Doğu bölgelerinde halk arasında astım, bronşite

öksürük, ateş, ağrı, bağırsak problemleri, diyabet vb. hastalıkların tedavisinde uygulanmaktadır. [10]

Bunun dışında bazı gıda maddelerinde de süsleme ve lezzet verme amacıyla çörek otu tohumu kullanılmaktadır. Çörek otunun tohumunun besin değeri oldukça yüksek olup içerisinde birçok faydalı bileşen barındırmaktadır. Tablo 3'de gösterildiği gibi tohum yapısında doymuş ve doymamış olmak üzere yağlar, uçucu olan yağlar, karbonhidrat, protein, amino asit, lif, mineraller, folik asitler mevcuttur. [11]

Tablo 3. Nigella sativa tohumunun içeriği

İÇERİK	% (w/w)
Yağ	31-35.5
Protein	16-19.9
Karbonhidrat	33-34
Lif	4.5-6.5
Saponin	0.013
Nem	5.7
Kül	3.7-7

Çörek otu tohumunun yapısındaki yağ asitleri, linolenik asitler, oleik asitler, linoleik asit, araşidonik asit, palmitoleik asit, eikozadinoik asittir. Doymuş yağ asitleri ise palmitik asit, stearik asit, miristik asitlerdir [11].

Çörek otu tohumu yapısında belirli bir oranda mineralde bulundurmaktadır. Tohumun yapısında en çok potasyum bulunurken bunu takiben sırası ile kalsiyum, sodyum, demir mineralleri bulunur [12]. Çörek otu tohumunun barındırdığı vitamin ve mineral miktarları ölçüldüğünde, tohumlarının fazla miktarda tiamin, pridoksin ve niasin bulundurdukları gözlenmiştir.

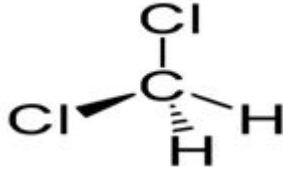
Çörek otu tohumundan elde edilen yağın üretimi en çok Akdeniz ülkeleri tarafından yapılmaktadır. Nigella sativa tohumunun yağı soğuk pres ile yüksek basınç uygulanması sonucu elde edilmektedir. Bu hassas yapılan işlem esansiyel yağların üretimi için oldukça önemlidir. Çörek otu yağının aromatik bir kokusu ve kızılımsı sarı renkte bir rengi, acı bir tadı vardır. [13].

2.3.Kullanılan Çözücüler

2.3.1. Diklorometan

Diklorometan diğer adıyla metilen klorür CH_2Cl_2 formüllü bir organik bileşiktir. İnhalasyon anestezik tesirleri bulunan dikolorometan yüksek konsantrasyonlarda ise narotik bir tesir meydana getiren klorlu yapıdaki hidrokarbon bileşimidir. Dikolorometan hafif bir kokuya, saydam bir görüntüye sahiptir. Bu özellikleri ile eter maddesine benzemektedir. Dikolorometan bileşiğinin uçucu özelliği oldukça

fazladır. Şekil 4’de Diklorometan kimyasal açık formülü gösterilmiştir.



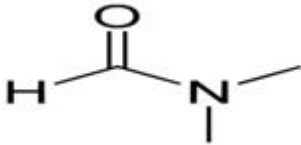
Şekil 4. Diklorometan kimyasal açık formülü

2.3.1.1.Kullanım Alanı

- Antibiyotik ve vitamin elde edilmesinde kristalizasyon çözücüsü olarak kullanılır.
- Aerosollerde çözücü, yanma engelleyici, buhar basıncını azaltıcı ve viskozite azaltıcı olarak kullanılır.
- Üretilen parçaların birbirine yapışmaması için ayırıcı olarak uygulanmaktadır.
- Metilen klorür endüstriyel üretimde çözücü amacıyla kullanılmaktadır.
- Piyasada genelde boya çıkarıcı olarak ve yağ çözümede kullanılır.
- Gıda üretiminde çay ve kahve gibi içeceklerin kafein oranlarını düşürmek için tüketilir.
- Poliüretan malzemeli köpüklere kabartıcı etki sağlaması için de kullanılır [14]. [15]

2.3.2.Dimetilformamid

Dimetilformamid diğer adıyla DMF organik bir bileşik olup su ve birçok organik madde ile karışım sağlayabilir. Şekil 5’de Dimetilformamid kimyasal açık formülü gösterilmiştir.



Şekil 5. Dimetilformamid kimyasal açık formülü

2.3.2.1. Dimetilformamid’in Özellikleri

- Hafif amonyak kokuludur.
- Düşük oranda uçuculuk özelliğine sahiptir.

- Dimetilformamid buharı yanıcı bir özellik gösterir.
- Su ile her oranda karışım sağlayabilir.
- Eter, alkol, keton ve aromatik hidrokarbon bileşiklerinde erime gösterir.
- Asit ve bazik çözücü haricinde kararlılık gösterirler.
- Alifatik hidrokarbon maddelerde az miktarda çözünür.

2.3.2.2. Kullanım Alanı

- Polimer, reçine çözümede kullanılır.
- Kimyasal tepkimelerde katalizör olarak
- Elektrolit çözümede
- Herhangi bir üretimde hammadde olarak
- Kristalizasyonlarda çözücü etki sağlamak için
- İlaç sanayisinde ekstraksiyonda, tepkimelerde ve banyonun kristallendirilmesinde kullanılır. [16] [17]

2.4.Kullanılan Polimer

2.4.1.PLA Polimeri

Tekrar eden birimleri laktik asit ’ten oluşan PLA polimeri, alifatik polyester grubuna girmektedir. Mısır, şeker kamışı, buğday ve nişasta gibi doğal bitkisel ürünlerden elde edilen biyo çözümler yani doğada çözünebilen bir polimerdir.

2.4.2.PLA Polimeri Eldesi

PLA polimerini oluşturan laktik asit monomeri, karbonhidrat fermantasyonu yoluyla ya da kimyasal sentez yoluyla üretilmektedir. Günümüzde genellikle fermantasyon yoluyla elde edilmektedir.

2.4.3.PLA Polimerinin Tercih Edilmesi ve Tıbbi Tekstilde Kullanımı

Laktik asit her insanın ve bazı hayvanların vücudunda oluşan organik bir bileşiktir. Genellikle kas ve kanda bulunmaktadır. Laktik asit insanda ya da hayvanda kas dokularıyla ilişkili olduğu için vücudun kendi metabolizması içerisinde çözünebilecek bir maddedir.

Bu çözülme sırası; laktik asit ilk önce pürik aside çevrilir, karbondioksit ve su sağlamak için trikarboksilik asit dönüşüne girmektedir. Bunun sonucunda laktik asidin çözünmesiyle organlarda herhangi bir kalıntıya rastlanmaz. Laktik asit böyle bir döngüyü tamamladığından dolayı biyo bozunur bir madde olarak adlandırılmaktadır.

PLA polimeri daha evvelden de bahsedildiği gibi laktik asit monomerinin polimerleşmesi ile meydana gelmektedir.

PLA polimerinin en çok tıbbi tekstilde kullanımı tercih edilmektedir. Bunun sebebi elbette ki polimerin yukarıdaki bölümde değinilen kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklıdır. Tıbbi tekstilde ise en çok cerrahi dikiş ipliği kullanımında tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise PLA polimerinin insan vücuduna uyumlu yani biyo bozunur özelliği göstermesindedir.

PLLA polimeri ise çok yavaş çözündüğü için cerrahi dikiş iplikleri kullanımında tercih edilmemektedir. Fakat uzun süre mukavemet gerektiren uygulamalarda ise tercih edilmektedir. Örneğin bu uygulamalar; bağ doku, tendon yapıları, vasküler ve ürolojik cerrahi için olan stent uygulamalarıdır. [18]

2.5.Çözeltide Kullanılan Dolgu Maddesi

2.5.1.Tween-80

Kimya sanayisinde Polisorbat 80 olarak da adlandırılmaktadır. Polietoksillenmiş sorbitan ve oleik asitten türetilmiştir. Genellikle gıdalarda ve kozmetik ürünlerinde kullanılan noniyonik bir yüzey aktif maddedir. Bu madde suda ve alkolde çözülür, yağda çözülmez. Genellikle oda spreyleri ve parfümlerde uçucu yağlar için viskozite değiştirme ve dağıtma maddesi olarak kullanılan emülsiyonlaştırıcı bir maddedir. [19]

2.6.Elektro Çekim Metodunda Kullanılan Cihazlar

2.6.1.Manyetik Karıştırıcı

Fiziksel homojenliğin sağlanması için ISOLAB manyetik karıştırıcı kullanıldı. Marmara Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Malzeme laboratuvarında bulunan Şekil 6'da görülen manyetik karıştırıcıda 3 saat karıştırılarak hazırlandı.



Şekil 6. "ISOLAB" markalı manyetik karıştırıcı

2.6.2.Hassas Terazı

Beş farklı konsantrasyonlarda çözelti hazırlamak için, Şekil 7'de gösterilmiş olan 0.10 g hassasiyetli terazi kullanıldı.



Şekil 7. "Ker PFB" markalı hassas terazi

2.6.3.Viskozite Test Cihazı

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PLA – Yün Çörek Otu Yağı çözeltisinin viskoziteleri BROOKFIELD DV-E VISCOMETER markalı viskoz metre cihazı ile ölçüldü.

III. METOT

3.1. Çözelti Hazırlama

Tablo 4'de farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış olan 5 farklı uygulama için ayrı ayrı çözelti hazırlanmış olduğu gösterilmektedir. Bu 5 uygulamada kullanılan PLA polimeri 15ml'lik çözeltinin %8' i kadar kullanılmıştır. Değişen konsantrasyon takviye çözeltisi olan yün yağı ve çörek otu yağı çözeltisinin 15ml'lik polimer çözeltisine ilavesi ile elde edilmiştir.

Tablo 4. Yapılan Uygulamalar

Uygulamalar	Miktar (%)
1-) PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	99/0.5/0.5
2-) PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	98/1/1
3-) PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	96/2/2
4-) PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	90/5/5
5-) PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	80/10/10

3.2.Polimer Çözeltisinin Hazırlanması

Kullanılan polimer (PLA) 15ml'lik çözelti içerisinde %8 konsantrasyonda 1,2 gram kullanılmıştır. Polimeri çözebilme için 4/1 oranında 12 ml Diklorometan (DCM) ve 3 ml N, N-Dimetilformamid (DMF) çözücüsü kullanılmıştır.

İzlenen proses;

- PLA polimeri hassas terazide beher içerisinde 1,2 gram tartılır.

- Beher içerisine 12 ml DCM, 3 ml DMF çözücüsü pipet yardımı ile ilave edilir.
- Beherin içerisine 1 adet balık koyulur.
- Çözücünün buharlaşmaması için beherin ağzı alüminyum folyo ile kaplanır.
- İçerisinde çözelti bulunan beher manyetik karıştırıcıda 3 saat boyunca 500 rpm hız ile karıştırılır.

3.3.Takviye Çözeltisinin Hazırlanması

%1 Takviye Uygulaması İçin;

Bir diğer çözelti olan takviye çözeltisi için 50/50 oranında karışım yapılmaktadır. %1'lik çözelti için 0,5gram yün yağı, 0,5 gram çörek otu yağı kullanılmıştır. İstenilen miktarda hassas terazi üzerinde tartılan takviye maddelerini çözebilmek için DCM çözeltisi kullanılmaktadır. 1 gram takviye maddesi için 10 ml DCM kullanılmıştır.

Çözeltiyi homojen bir şekilde çözebilmek için yukarıda anlatılan işlem akışında Şekil 8'de gösterilen manyetik karıştırıcı üzerinde 3 saat boyunca 500 RPM hızda karıştırılmıştır.



Şekil 8 Çözeltiler ayrı beherler içerisinde çözünmekte

2 çözeltide homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra uygulamada kullanılacak konsantrasyonda çözelti elde edebilmek için 2 çözeltiden istenilen miktarda Şekil 9'da gösterilen Mikro pipet yardımıyla çözelti çekilmektedir.



Şekil 9. Mikro pipet ile çözücü çekimi

15 ml çözelti oluşturmak için; %99 oranında 14,85 ml PLA ve %1 oranında 0,15 ml yün çörek otu yağı karışımı kullanılmıştır.

3.4.Diğer Çözeltilerin Hazırlanması ve Testlerin Yapılması

Diğer çözeltilerin proses aşamaları aynıdır. Konsantrasyonu etkileyen çözeltilerden çekilen miktardır.

- 15ml'ye tamamlanmış çözeltiye çözeltinin %3'ü konsantrasyonunda yani 0,5 gram kadar Tween-80 maddesi eklenir. Tween-80 maddesi çözeltinin viskozitesini stabil hale getirmek için kullanılmaktadır.
- Çözelti yarım saat kadar 500 RPM hızda karıştırılarak homojen hale getirilir.
- Çözelti bu aşamadan sonra viskozite ve iletkenlik testi için hazır hale gelmektedir.

3.4.1.Viskozite Testi

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PLA-Yün Çörek Otu Yağı çözeltisinin viskoziteleri Şekil 10'da görülen BROOKFIELD DV-E VISCOMETER markalı cihaz ile ölçüldü.



Şekil 10. Viskozite Test Cihazı

Viskozite testi aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

Ölçümü yapılacak çözeltinin viskoz metre cihazının haznesinin yarısını dolduracak kadar ilave edilir.

1. Viskoz metre cihazında kullanılacak uygun spinneret başlığı seçilir.
2. Çözeltinin ilave edildiği hazne cihaza yerleştirilir.
3. Spinneret başlığının dönüş hızı 100 RPM seçilir.

4. Cihaz çalıştırılır ve ekranda okunan değer not alınır.

3.4.2. İletkenlik Testi

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan PLA – Yün Çörek Otu Yağı çözeltilerinin iletkenlikleri Şekil 11’de görülen COND 3110 markalı iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçüldü



Şekil 11. İletkenlik test cihazı

İletkenlik testi proses aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

1. Cihazın probu temizlenmiş bir şekilde cihaza takılmalıdır.
2. Çözelti 10ml’lik şırınga içerisinde 3-4ml arasında konulur.
3. Prob, şırınganın içine sokulur ve 15 saniye beklenir.
4. Cihazın ekranı üzerinde görünen değer not alınır.

Tablo 5’de konsantrasyonlar, çözeltilerde çekilen miktarlar, viskozite test sonuçları, iletkenlik test sonuçları verilmiştir;

Tablo 5. Uygulamaların çözelti oranları, üretim miktarları, viskozite değerleri ve iletkenlik değerleri

Uygulamalar	Miktar (%)	Çekilen Miktar(ml)	Viskozite Değeri (CP)	İletkenlik Değeri (µS/cm)
1-) PLA/Yün Yağı/ Çörek Otu Yağı	99/1	14,85 / 0,15	31	4
2-) PLA/Yün Yağı/ Çörek Otu Yağı	98/2	14,70 / 0,30	43	4,2
3-) PLA/Yün Yağı/ Çörek Otu Yağı	96/4	14,4 / 0,6	39,9	4,4
4-) PLA/Yün Yağı/ Çörek Otu Yağı	90/10	13,5 / 1,5	57,5	4,5
5-) PLA/Yün Yağı/ Çörek Otu Yağı	80/20	12/3	84	4,8

3.5. Elektro Çekim Cihazı ile Yara Örtüsü Eldesi

Proses aşamaları maddeler halinde sıralanacak olursa;

1. Viskozite testinin yapıldığı şırınga içerisinde ki 3-4ml’lik çözelti 10 mm’ye tamamlanmaktadır.
2. Şırınga ucu ile kapatılan çözeltinin hava ile teması engellenir.
3. Şırınga makinenin besleme kısmına yerleştirilir.
4. Makinenin kısıkaçları ile şırınga besleme kısmına sabitlenir.
5. Ağızlık ile Toplayıcı arasında ki mesafeyi ayarlamak amacıyla çelik aksam kullanılır. Uygulamada ağızlık ile toplayıcı arasındaki mesafe 12 cm’dir.
6. Çelik aksamın ucuna ağızlık yerleştirilir. Ardından çelik aksam makineye yerleştirilir. Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Çelik aksam ve ortasındaki ağızlık

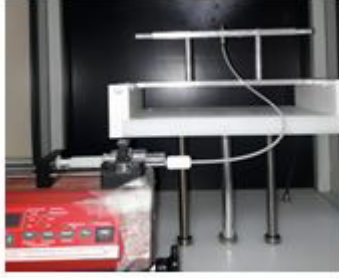
7. Şekil 13’de toplayıcı üzerine nanolif toplanması için yağlı kâğıt kullanılması gerektiği gösterilmiştir.



Şekil 13. Toplayıcı üzerine yerleştirilmiş yağlı kâğıt

Şırınganın ucuna çözeltinin sızdırmazlığını sağlamak için beyaz renkte sızdırmaz başlık takılmıştır. Ağızlık ile şırınga arasında çözelti akışının sağlanması için 2 mm

çapında bir kablo ile bağlantı sağlanmıştır. Şekil 14’de bağlantı kablosu ve sızdırmaz başlık ifade edilmiştir.



Şekil 14. Çözelti akışını sağlayan bağlantı kablosu

8. Besleme bölgesinde yer alan pompanın start düğmesine basılarak, çözelti ağızlığın ucuna gelene kadar basılı tutulur. Çözelti ağızlığın ucuna geldiğinde peçete yardımıyla ağızlıktaki fazla çözelti silinir.
9. Pompanın ayar kısmından çözeltinin akış hızı ayarlanır. Çözeltinin akış hızı mm/h olarak kullanılır.
10. Daha sonra makinenin kapağı kapatılır ve makinenin kontrol bölümünde ayar yapılır.

Makinenin gerekli ayarı yapıldıktan sonra üretime geçilir. Farklı konsantrasyonlarda yapılan uygulama için makine ayarı Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 6. Uygulamaların genel üretim bilgileri

Uygulamalar	Konsantrasyon (%)	Voltaaj (kV)	Akış Hızı (m/h)	Sıcaklık (C°)	RPM (Toplayıcı Dönüş Hızı)	Mesafe (Cm)
PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	99/0.5/0.5	32	1,6	22	100	12
PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	98/1/1	31,5	1,7	22	100	12
PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	96/2/2	31,8	1,7	22	100	12
PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	90/5/5	31,8	1,7	22	100	12
PLA/Yün Yağı/Çörek Otu Yağı	80/10/10	32	1,8	22	100	12

- Yukarıda ki tabloda yazılan ayarlamalar RPM ve mesafe standartlardan faydalanılarak elde edilen verilerdir.

- Voltaaj ve akış hızı değerlerinin ise üretim esnasında deneyerek ve gözlemler sonucu en uygun akışın gerçekleşmesini sağlayan değerler tespit edilmiştir.
- Sıcaklık değeri ise 22C° de kontrol edilmiştir.

IV. Yara Örtüsü Üzerine Son Yıllarda Yapılan Çalışmalar

4.1. Yara Örtüsü Alanında Yapılan Çalışmaların Sebebi

Son yıllarda, yara örtüsü alanında özellikle yurt dışında yapılan araştırmalar ve uygulamalar ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmaların asıl amacı yarayı çeşitli bakteri, toz, sıvı vb. dış etkenlere karşı daha iyi koruyarak ve buna ek olarak yara örtüsünün gözenekli yapıda olması, insan vücuduna uyumlu bir polimer maddesinin kullanılması ile yara için optimum koşulların sağlanması ve yaranın iyileşme sürecinin hızlandırılması amaçlanır. Aşağıda son yıllarda yara örtüsü alanında en çok tercih edilen polimer maddeler ve yara örtüsüne etkileri hakkında bilgiler verilmiştir.

Tablo 7’de, farklı hammaddeler ile yapılan yara örtüsü uygulamalarının karakteristik özellikleri ve uygulama detayları verilmiştir [20];

Tablo 7. Farklı Yara Örtülerinin Uygulama Alanları ve Karakteristik Özellikleri

Yara Örtüsü Tipi	Karakteristik Özelliği	Uygulama ve Detaylar
Hayvansal Kaynaklı (Kalojen vb.)	Gözenekli, hidrofilik özellikler, yüksek emme kabiliyeti	Akut yaralar, geçmeyen yaralar
Bitkisel Kökenli (Pamuk, viskoz vb.)	Çoğunlukla selüloz, viskoz veya her ikisinin bir karışımından oluşturulur, cilde oldukça yapışır, çoğunlukla çift katmanlı, 15-25 g/g adsorpsiyon kabiliyeti göstermektedir.	Yanık yaraları, kronik yaralar ve ülser yaraları
Sentetik Kökenli (Poliüretan, PCL, PLA vb.)	Yaklaşık 200–300 gözenek /cm ² gözenek dağılımı, yüksek mukavemetli özellik gösterir.	Kuru yaralar
Kitosan	Yüksek drenaj özelliği, su itici yüzey ve yüksek hava geçirgenliği sağlar.	Enfekte yaralar
Sodyum Alginat	Lifli ve çok emici yapıdadır. İkinci bir kanamayı önleyici madde gerektirmektedir.	Islak ve kuru yaralar
Hidrojel	Şeffaf, nemli bir yara ortamını korur, ölü dokunun uzaklaştırılması kolaylaştırır ve düşük iletkenlikli orta eksüdalı yaralar için uygundur	Yanıklarda, cerrahi yaralarda, cilt su toplamalarında ve bası yaralarında ve iltihaplı yaralar

Hidrokolloid	Tıkayıcıdır, bakteri büyümesini engelleyen, düşük drenajı olan yaralar için uygundur ve mükemmel yapışma özelliği gösterir.	Genellikle küçük yanıklar, çok yaralanmaları ve çürükler gibi yüzey iltihapları, ıslak ve kuru yaralar
İlaç Sahnımlı(Antibiyotik, vitamin vb.)	Daha kısa kullanım süresi, yara enfeksiyonlarını önler, nekrotik dokuların çıkarılmasını kolaylaştırır ve doku yenilenmesini destekler.	Enfekte-iltihaplı yaralar

4.2. Kitosan Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

Kitosan, antimikrobiyal aktivitesi ve iyileştirme özelliği nedeniyle biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir doğal polimerdir. Ayrıca drenajı teşvik eder, yani su itici özellik gösterir. Yara iyileşme sürecinde gerekli olan gaz değişimini destekler, bu sayede yaranın iyileşme sürecini hızlandırır. Tablo 6’ da görüldüğü üzere drenaj ve hava geçirgenliği özelliğinden dolayı enfekte yaralar üzerinde tercih edilmektedir, Aynı zamanda birçok polimer ile ortak çözelti de kullanılabilir. [21]

4.3. PCL Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

PCL polimerinin yara örtüsü alanında kullanımı son yıllarda araştırmacılar tarafından ele alınmıştır. PCL, yarı kristalin yapıya sahip biyobozunur ve biyoyumlu bir polimer özelliği gösterir. PCL kullanılarak elde edilen elektro eğrilmiş yüzeyler gözenekli yapıya sahip elastik morfoloji sayesinde gaz değişimine olanak sağlamakta ve yara bölgesini absorblamaktadır. Fakat PCL polimerinin yara örtüsü alanında kullanımını kısıtlayacak bazı dezavantajları vardır. Örneğin, PCL polimerinden elde edilen yara örtüsü, yara bölgesine kuvvetli bir şekilde tutunma davranışını göstermektedir. Bu durumda tamir olan yeni deri dokusunun zarar görmesine ve yara iyileşme sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca Tablo 6’da görüldüğü gibi PCL ve diğer sentetik kökenli polimerler kuru yara uygulamalarında kullanılır. Fakat kuvvetli tutucu özelliği gösterdiği için dirsek ve diz kapağı gibi oynar bölgeler üzerinde kullanılması tercih edilmemektedir. [22]

4.4. Poliüretan Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

Bu yara örtüleri çoğunlukla kuru yaralarda kullanılmakta olup, nemli bir yara ortamı oluşturulabilmektedir.

Saydam olduklarından yara bölgesini gözleyebilme olanağı sağlar. Modern yarı-geçirgen yara örtüleri, genellikle poliüretanın çeşitli karışımlarından elde edilmektedir. Bu filmler sayesinde yaraya 3000 g/m²/24 saat veya daha yüksek oranda nem buharı sağlanabilmektedir. Ameliyat sonrası yaralarda, yanık yaralarında, basınç yaralarının tedavisinde, ameliyat için deri alınan bölgelerde, damar içi uygulamalarında kullanılabilir. Ayrıca bu örtüler, ölü dokusu içeren yaraların temizlenmesine yardımcı olmaktadır. Hafif ve esnek olup, yara yüzeyi ile iyi uyumluluk gösterdiğinden sürtünmeye karşı deri hasarını önler ve hastanın konforunu olumsuz etkilemezler. Bu örtüler; hidrojel, hidrokoloid ve alginatlarla birlikte çok sık kullanılmaktadır. Bu örtülerin dezavantajları ise; derinin aşırı nemlenmesine neden olabilmeleri, sık değiştirme zorunluluğu, uygulanabilmesi için yaranın etrafında sağlam derinin olması gerekliliğidir. [20]

4.5. Sodyum Alginat Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

Sodyum alginat polimeride bu alanda oldukça fazla kullanılmaktadır. Alginat, yara sıvısı ile temas ettiğinde bir jel oluşturur ve ağırlığının yaklaşık 20 katı kadar sıvı emebilmektedir. Bu sebepten alginat polimerinden geliştirilen yara örtüleri Tablo 6’da görüldüğü üzere çok ıslak yaralarda yani kanlı ve iltihaplı yaralarda kullanımı tercih edilmektedir. Aynı zamanda mikrop yok edici etkileri az olup, bakteriler pasif olarak jel içerisinde hapsolabilmekte ve örtü değişimi ile uzaklaştırılabilmektedir. Alginatların ağrıyı azaltıcı ve kanama durdurucu etkileri de vardır. [23]

4.6. Hidrojel Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

Son yıllarda hidrojel maddesinin yara örtüsü uygulamalarında kullanımı ve araştırmaları yapılmaktadır. Hidrojellerin tercih edilmesinde birçok etken vardır, bunlardan biri yüksek seviyede insan vücuduna uyumlu olmasıdır. Hidrojel yara örtüleri, Tablo 6’da; yaranın akıntısını emer bu nedenle ıslak yani iltihaplı yaraları iyileştirmek için kullanıldığı belirtilmektedir. Bu madde sadece yaraların yüzeyi için uygundur. Bir diğer avantajı hidrojel polimerlerden elde edilen yara örtüleri şeffaf ve berraktır, bu nedenle sargı yüzeyi sargı çıkarılmadan kolayca gözlemlenebilir. Genellikle hidrojel yara örtüleri yanıklarda, cerrahi yaralarda, cilt su toplamalarında ve bası yaralarında kullanılabilir. [23]

4.7. Hidrokolloid Polimerinin Yara Örtüsü Uygulamalarında Kullanımı

Hidrokolloidler yüksek miktarda su bağlayabilen yüksek molekül ağırlığı sahip makro moleküllerdir. Hidrokolloidler Tablo 6'da; küçük yanıklar, şok yaralanmaları ve çürükler gibi yüzey ülserleri için uygun biyolojik olarak parçalanabilir ve biyolojik olarak uyumlu bir yapı oluşturduğu belirtilmiştir. Fakat hidrokolloid yara örtüleri, özellikle yaraların iyileşme oranını arttırmak için oksijene ihtiyaç duyan bir enfeksiyonu olan yaralar için uygun değildir. Bunun sebebi hidrokolloid yara örtüleri tıkaçıcıdır, bu nedenle su, bakteri ve oksijenin yaraya girmesini önlerler. Ayrıca, hidrokolloidler yaranın pH'ını düşürür ve bakteri büyümesini önlemeyi kolaylaştırabilir. [23]

4.8. İlaç Salımlı Yara Örtüsü Uygulamaları

İlaç salımlı yara örtüleri, tedavi edici ajanların pansumanlara dâhil edilmesiyle, yaraların daha hızlı ve daha iyi onarılması mümkündür. Tablo 6'da ilaç salımlı yara örtüsünün enfeksiyon kapmış yaralar üzerinde kullanıldığı belirtilmektedir. Enfeksiyon yaralarında kullanılmasının sebebi, enfeksiyonları önlemek için antibiyotikler kullanılabilmesi, hasarlı dokuları yenilemek ve ölü dokuları yaradan uzaklaştırmak için vitamin ve mineraller gibi esnek maddelerin ilaç taşıyıcılar olarak kullanılması ile yaranın iyileşebilmesi için uygun koşullar sağlanabilmesinden dolayı enfeksiyon tedavisinde kullanılmaktadır. Yara iyileşme sürecini engelleyen en önemli faktörlerden biri enfeksiyondur. Bu nedenle, yaranın yüzeyindeki mikroorganizmalardan kurtulmak için ilaç salımlı yara örtülerinde antibiyotikler oldukça fazla kullanılmaktadır. [23]

4.8. Yara Örtüsü Çalışmalarının Gelecekteki Beklentileri

Kronik yaralar doktorlar, hastalar, aileler ve genel olarak insanlar için büyük zorluklardır. Yara örtüleri, iyileşmeyen ve kronik yaraların nedenlerini yönetmeye yardımcı olmak için kullanılır. Yara örtüleri çeşitli tipleri olmasına rağmen, her bir yara tipinin kendine özgü incelemesine ihtiyacı vardır. Bu alanda yapılan çalışmalar ve araştırmalar bu sebepten dolayı önem taşımaktadır.

Farklı polimer maddeler ile ilgili araştırma yapılmasının sebebi birçok farklı yara tipi olmasına dayanmaktadır. Farklı polimer maddeleri ve karışımları denenerek oluşturulan yara örtüleri belirli testlere tabii tutularak hangi yara çeşidi üzerinde kullanılabilir veya yara örtüsü statüsünde kullanılabilirliği araştırılmaktadır. Bu çalışmaların ana nedeni yaraların iyileşme süreçlerinin hızlandırılmasıdır. Günümüzde hala,

diyabetik yara, venöz ayak ülseri gibi kronik yaralar için uygun bir yara örtüsü geliştirilememiştir. İlaç ile tedavi edilmeye çalışılsa da kronik yaralar genellikle tam iyileşmeye ulaşamaz.

Yara iyileşmesinde temel mekanizmalar ve mevcut yara örtüsü uygulamaları hakkında yapılan veya yapılacak çalışmalar sonucunda gerekli bilgi edinilerek, en iyi yara örtüsü seçimini kolaylaştıracaktır. Bu nedenle, hastalara ve doktorlara yardımcı olmak ve yara iyileştirme sargılarının ameliyathanelere eklenerek, yara iyileştirilmesi için gelişmiş bir tedavi seçeneği bulmak için daha fazla araştırma yapılması çok önemlidir.

Bunun yanında elde edilecek materyalin insan vücuduna uyumlu ve çevrede dönüşüme elverişli olması istenmektedir. Günümüzde insanların organik ürünlere daha çok rağbet ettiği görülmektedir. Bu davranışın ileride hele ki sağlık sektöründe daha çok artması beklenmektedir. Kullanılan materyale doğal olmayan maddeler ne kadar az dahil edilirse, insan vücuduna ürünün daha çok faydalı olacağı düşüncesi gelişmiştir. Bu çalışmada bu sebepten sentetik polimerlere nazaran biyoyumlu olan laktik asitten sentezlenen PLA polimeri kullanılmıştır. PLA polimerinin yanında yün yağı ve çörek otu yağının kullanılması ile yara örtüsüne doğal yollardan antibakteriyel özellik kazandırması amaçlanmıştır. Materyalin biyoyumlu olması dışında kolay kullanılabilir olması da istenmektedir. Bunun gibi istenilen özelliklerin elde için yara örtüleri üzerine çalışmalar yapılmaya ve elde edilen yara örtülerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

V. Sonuçlar ve Öneriler

Tıbbi tekstil alanında kullanılması için üretilen yara örtüsü, belirlenen PLA polimeri ile takviye çözültisi olarak hazırlanan çörek otu ve yün yağı farklı konsantrasyonlarda polimer çözültisine takviye edilerek kullanılmıştır. Elde edilen farklı konsantrasyonlarda ki polimer çözültileri elektro çekim cihazında belirli kurallar altında nanolifler haline çekilerek bir nano yüzey oluşturulmuştur. Polimer çözültülerinin farklı konsantrasyonlarda hazırlanması ve üretim esnasında farklı voltaj değerlerinde çalışılması sonucu elektro çekim sürecine gösterdiği etkiler gözlemlenmiş, sonuçlar çıkarılmış ve üretim esnasında karşılaşılan problemler ile ilgili çözümler derlenmiştir. Ayrıca yara örtüsü numunelerine yapılabilecek test metodları modellenerek önerilerde bulunulmuştur.

5.1. Üretim Esnasında Karşılaşılan Problemler Çözümler

- Üretim esnasında karşılaşılan problemlerden biri olan ağızlık ucunda çok fazla polimer madde birikmesi, bu problemin çözülebilmesi için 2 farklı yöntem mevcuttur. İlk yöntemde ağızlık ucunda fazla polimer maddenin birikmemesi için pompanın akış hızı düşürülebilir. Diğer yöntem ise akışın sağlanması için yeteri kadar voltajın ağızlığa verilmeme ihtimali olabilir, voltaj artırılarak bu problem çözülebilir.
- Bir diğer karşılaşılan problem ise ağızlıktan toplayıcı üzerine çok cıız veya kesik kesik akışın sağlanması durumu bu problemi çözmek için akış hızı artırılabilir. Diğer çözüm yöntemi voltaj düşürülebilir.
- Ağızlık ucunda dallanma gözlemlenmesi bir başka problemdir. Aslında gözlemlenen dallanma akışı etkilemediği sürece bir problem yaratmamaktadır. Fakat akışı etkilediği andan itibaren üretim için bir problem olmaktadır. Bu durumun çözümü için akış hızının düşürülmesi ve makinenin kontrol panelindeki kV tuşunun in aktif hale getirerek ağızlığın peçete ya da kuru bez yardımı ile temizlenmesi durumunda problem çözülecektir.
- Toplayıcı üzerindeki yağlı kâğıtta toplanan nanolifler de zaman zaman kalın noktalar gözlemlenmesi, bu problemin ana sebebi uygulanan voltajın jet akımı olarak tabir edilen, ağızlık ve toplayıcı arasındaki mesafede polimer çözeltisindeki çözücülerini buharlaştıracak miktarda olmamasından kaynaklanır. Bu problemin çözümü ise voltajın artırılması ya da ortam sıcaklığının bir miktar artırılması ile çözüme kavuşabilir.

5.2. Öneriler

- Bu ve bunun gibi karşılaşılan problemler yukarıdaki tabloda yer alan parametreler üzerinde oynanarak ve gözlem yaparak çözülebilecek etmenlerdir.
- Elektro çekim yönteminde üretim dışında çözelti hazırlamada kullanılacak polimere uygun çözelti kullanılması önemli bir noktadır. Polimer çözeltisinin son derece iyi bir şekilde karıştırılması gerekmektedir.
- Üretim esnasında ise sürekli gözlem yapılması gereklidir. Özellikle ağızlık toplayıcı bölümünün dikkat edilmesi gerekir. Karşılaşılan problemleri erken tespit etme ve müdahale etme, elde edilecek ürünün kalitesini ve kullanılabilir olmasını arttırmaktadır.

Kaynakça

- [1] B. Ö, «Nanolif Üretiminde Çap Kontrolü,» Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2013.
- [2] Introduction to Technical Textill, «Tıbbi Tekstillerde kullanılan hammadeler,» Medtec, 2008.
- [3] Introduction to Technical Textill, «Tıbbi tekstil malzemelerin özellikleri,» medtec, 2008.
- [4] G. Mutlu, DOKU REJENERASYONUNDA KULLANILMAK ÜZEREETKEN MADDE YÜKLÜ NANOFİBRİLER YAPILARIN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU, Ankara: Hacettepe Üniversitesi, 2014.
- [5] B. Mirasoğlu, «Yara Bakım Ürünleri,» TOTBİD , cilt 14, p. 456-461, 2015.
- [6] S. Altınay, «Yün Hakkında Genel Bilgiler,» 2 10 2012. [Çevrimiçi]. Available: <https://tekstilmuhendisi.wordpress.com>.
- [7] M. Bullivant, «Lanolin, Wool and Hand Cream,» Rough Science, 2000.
- [8] F. Forouzanfar, B. Bazzaz ve Hosseinzadeh, «Nigella sativa and its constituent (thymoquinone): a review on antimicrobial effects,» National Center for Biotechnology Information , cilt 12, p. 929-938, 2014.
- [9] M. Salem, «Immunomodulatory and therapeutic properties of the Nigella sativa,» PubMed, pp. 13-14, 2005.
- [10] S. Darakhshan ve A. H. C. S. Ali Bidmeshki Pour, «Thymoquinone and its therapeutic potentials,» ScienceDirect, pp. 138-158, 2015.
- [11] K. E.-D. D. B. Hussein El-Tahir, «The black seed Nigella sativa Linnaeus—a mine for multi cure:a plea for urgent clinical evaluation of its volatile oil.,» ScienceDirect, pp. 1-19, 2006.
- [12] H. A. A. G. U. S. R. S. İ. F. S. Melek Tuter, «Partial purification of nigella sativa L. Seed lipase and its application in hydrolytic reactions. Enrichment of γ -linolenic acid from borage oil,» SpringerLink, cilt 80, pp. 237-241, 2003.
- [13] S. S. A. G. G. A. S. C. John M. Dyer, «High value oils from plants,» Wiley Online Library, 2008.
- [14] 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://okimya.com.tr/glikoller-solventler/metilen-klorit-diklorometan/>.
- [15] 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Diklorometan>.
- [16] 2019. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Dimetilformamid>.
- [17] 2016. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.flokser.com.tr/kimya/dmf/>.
- [18] R. Auras, L. Lim, S. Selke ve H. and Tsuji, «PLA Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications,» A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2010.
- [19] 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.acarchemicals.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=3&id=13&id2=5757>.

- [20] A. Akgül, «En Yeni Yara Tedavileri,» 2018. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ahmetakgul.com.tr/index.php/uzmanliklar/yara-bakimi/2128-en-yeni-yara-tedavileri>.
- [21] F. L. A. T. S. a. V. O. Mariana Adina Matica, «Chitosan as a Wound Dressing Starting Material:Antimicrobial Properties and Mode of Action,» PubMed, 2019.
- [22] İ. A. İŞOĞLU, «Yara Örtü Malzemesi Olarak Elektroğrılmış PCL/PHBV Membranların Hazırlanması ve Karakterizasyonu,» Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, cilt 8, no. 3, pp. 1029-1044, 2019.
- [23] S. K. N. K. E. N. ., R. Erfan Rezvani Ghomi, «Wound dressings: Current advances and future directions,» Wiley Online Library, 2019.
- [24] M. Khader ve P. Eckl, Thymoquinone: an emerging natural drug with a wide range of medical applications, 2014.
- [25] University of Waikato, «Wool fibre structure and properties,» 2018. [Çevrimiçi]. Available: https://www.science-arn.org.nz/image_maps/61-wool-fibre-structure-and-properties.

Quadrotor Test Düzeneği için PID Kontrolör Tasarımı ve Uygulaması

Designing PID Controller for Quadrotor Test Bench and Implementation

Kübra PEHLİVAN¹, Mustafa Caner AKÜNER²

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, dört motorlu insansız hava aracı olarak bilinen quadrotorun rotasyonel hareketlerinin kontrolünü gerçekleştirmek için PID kontrolör tasarımı ve bu hareketlerin analizi için sabit bir quadrotor test düzeneği yapılması amaçlanmıştır. Yapılan quadrotorun boyutları, kütlesi, eksenlerdeki atalet momenti gibi fiziksel parametreleri kullanılarak sistemin hazır matematiksel modeli Matlab Simulink ortamına taşınmıştır. Sistemin girişlerine bağlı olarak çıkışlarının gözlemlenmesi, sistemin çalışma mantığını anlamak ve PID kontrolör tasarımına ön çalışma olması amacıyla gerçek sistem dışında Matlab ortamında çalışılmıştır. Quadrotor dört girişli ve altı çıkışlı bir sistem olması sebebiyle quadrotor, eksik tahrikli-lineer olmayan-karmaşık sistem olarak kabul edilir. Bu dört giriş dört motorun sağladığı itki kuvvetini ve altı çıkış eksenlerdeki rotasyonel hareketleri belirtmektedir. Sistemi kontrol etmek için modelleme sürecinde bazı varsayımlar yapılır. Bunlar quadrotor rijit bir gövdeye sahiptir, yapısı simetrik ve yer etkisinin yoksayılmıştır. Matlab/Simulink ortamında matematiksel model ile yunuslama açısı (θ), yatış açısı (ϕ), ve sapma açısı (ψ) bilgilerini içeren açısal konumu PID kontrolör tarafından kontrol edilmesi sağlanmıştır. Yunuslama, yatış ve sapma eksenlerindeki referans olarak verilen açılar matematiksel modelin giriş bilgisidir. Motorlara gönderilen dört kuvvet büyüklüğü ise çıkış bilgisi olarak hesaplanmıştır. Matlab/Simulink ortamında formüle edilen hareket denklemleri için Newton – Euler yöntemi kullanılmıştır. Test düzeneğinin fiziksel parametreleri, Matlab’deki sistemin matematiksel modelinde tanımlanmıştır. PID kontrolör kazançları Ziegler – Nichols yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Eksenlere referans olarak verilen açı bilgisine göre sistemin kararlılığa geçme süresi ve aşım miktarı araştırılmıştır.

Dinamik hareketlerin analiz edilmesi amacıyla yapılan dört motorlu fırçasız DA motorlu quadrotor test düzeneğinde, aracın modelini mümkün olduğunca gerçekçi hale getirilmeye çalışılmıştır. Sistemde, quadrotorun uçurulmasında kararlılık elde etmek için bir PID kontrolör tasarlanmış ve uygulanmıştır. Mikrokontrolör için çalışan algoritma, temel olarak Ataletsel Ölçüm Birimi sensörü ile elde edilen eksenlerdeki açı bilgisine ve her bir rotora bağlı olan pervaneler tarafından sabit açı olarak sağlanan itme kuvveti olan dört çıkış kuvvetine sahiptir. Test düzeneğinin laboratuvar gibi kapalı bir ortamda güvenli bir şekilde çalıştırılabilmesi için yere ağırlıkla sabitlenmiştir. Bu sebeple yatış, yunuslama ve sapma eksenlerinde hareket serbestliği varken irtifa ya da yükseklik kontrolü yapılamamaktadır. Matlab modelinde hesaplanan PID kazançları gerçek test düzeneğini kontrol etmek için kullanılan mikrokontrolör içindeki kontrol algoritmasında denenmiştir. Quadrotor test düzeneğinin verilen referans için gösterdiği hareketler, kararlılık miktarı ve kararlılığa geçme süresinin yeterli olmadığı gözlemlenmiştir. PID kazançları üzerinde manuel olarak iyileştirmeler yapılarak yunuslama ve yatış hareketlerinde kararlılığa geçme süreleri ortalama 1-2 ms olduğu analiz edilmiştir. Sonuç olarak sistemin bilgisayardaki modeli ile gerçek zamanlı test düzeneğinde çalışması arasında farklılıklar bulunmuştur. Bunun nedeni, test düzeneğinin çevresel şartlardan etkilenmesi ve Matlab matematiksel modelinin eksikliği olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: İHA modelleme, PID kontrolör, Quadrotor, Ataletsel Ölçüm Birimi (AÖB)

Abstract

In this study, designing a PID controller to perform the control of the rotational movements of the quadrotor known as a four-motor unmanned aerial vehicle and manufacturing of a fixed quadrotor test bench for the analysis of these movements are aimed. The

mathematical model of the system was moved into Matlab Simulink environment by using the physical parameters such as the dimensions, mass, and moment of inertia of the quadrotor. In order to observe the outputs of the system depending on the inputs, to understand the how the system works and to be a preliminary study for the PID controller design, it was worked in a Matlab environment except the real system. Since the quadrotor is a system with four inputs and six outputs, the quadrotor is considered an underactuated nonlinear complex system. These four inputs indicate the thrust force provided by the four motors and the rotational movements of the six output axes. Some assumptions are made in the modeling process to control the system. These are quadrotor has a rigid body, structure is symmetrical and the ground effect is ignored. In the Matlab / Simulink mathematical model, the angular position has been controlled by the PID controller including pitch angle (θ), roll angle (ϕ) and yaw angle (ψ) data. The angles given as reference of pitch, roll and yaw axes are the input information of the mathematical model. The magnitudes of four force which are sent to the motors are calculated as output information. Newton – Euler method is used for the equations of motion formulated in Matlab / Simulink environment. The physical parameters of the test bench are defined in the mathematical model of the system in Matlab. PID controller gains were calculated by using the Ziegler – Nichols method and then used in the PID controller. Settling time and overshoot were analyzed according to the angle data given as reference to the axes.

In the quadrotor test bench with four brushless DC motor, which was carried out to analyze dynamic movements, it has been considered to formulate the mathematical model of the vehicle as possible as realistic. This model has been used to design a stable and accurate controller. In the system, PID controller has been designed and implemented in order to achieve stability on flying of the quadrotor. The algorithm which is worked in a microcontroller basically has angle the data of each axis which is obtained through Inertial Measurement Unit sensor and four output forces which are provided thrust force by propeller connected to each rotor. . In order to operate test bench safely indoor such as laboratory, test bench has been fixed on the ground. For this matter, altitude or height control could not be performed while there is freedom movement of axis roll, pitch and yaw. The PID gains which is calculated in the Matlab model were tested in the control algorithm inside the microcontroller used to control the actual test bench. It has been observed that the movements, stability and settling time of the quadrotor test bench were not sufficient for the given reference. It was provided that settling time for pitch and roll movements was average 1-2 ms by making manual tuning on the PID gains. As a result, differences were found out between the model of the system on the computer and the operation in the real-time test bench. The reason for this is that the test setup is affected by environmental conditions and the lack of Matlab mathematical model.

Keywords: UAV modelling, Proportional – Integral – Derivative (PID) controller, Quadrotor, Inertial Measurement Unit (IMU)

I. GİRİŞ

Otonom uçuş sağlayabilen ve içinde pilot bulundurmayan hava robotları olarak bilinen İnsansız Hava Araçları (İHA) son yıllarda ülkemizde de dahil olmak üzere tüm dünyada büyük gelişmeler göstermiştir. Başlıca sivil ve askeri alanda kullanılmakta olan İHA'lar istihbarat, gözetleme, keşif görevleri yerine getirme ve hobi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İHA sınıflandırmasının içinde bulunan araçlardan maliyeti, kontrol kolaylığı, üretimi ve faydalı yük gibi fonksiyonelliğinin artırılabilmesi açısından en yaygın kullanılan ve hem 'döner kanat' hem de 'multi rotor' sınıfına giren dört rotorlu quadrotorların olması sebebiyle bu çalışmada quadrotor seçilmiştir.

Son on yılda yapılan çalışmaların çoğu hava araçlarında aşılabilir davranış kararlılığı, yükseklik izleme veya bir noktadan istenilen başka bir pozisyon ve yüksekliğe getirilmesi (yörünge izleme) şeklinde olduğu bilinmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalara örnek olarak 2008 yılında Bresciani, NewtonEuler tabanlı gövde iskeleti modelini kullanarak tasarladığı quadrotor platformu üzerinde pervane kaldırma ölçümü, rotor ve gövde ataleti hesaplaması dahil olmak üzere quadrotor sabitlerini tanımlayarak sistem modelini tasarlamıştır. Tasarlanan quadrotor, kızıl ötesi ve sonar mesafe sensörleri ve atalet ölçüm birimi ile donatılmıştır [1]. 2005 yılında Mahony ve arkadaşları sensör füzyon algoritmaları üzerinde çalıştılar. İnsansız quadrotorlar ve diğer insansız uçaklarda yaygın olarak kullanılan dönüölçer ve ivme sensörleri birleştirmek için lineer olmayan tamamlayıcı bir filtre ortaya koydular [2]. 2011 yılında, Stanculeanu ve arkadaşları başka bir quadrotor platformu ortaya çıkardılar. Bu projede kapalı döngü sisteminden gelen giriş komutu verilerine karşı gerçek zamanlı davranışın açı verileri toplandı. Daha sonra, hata tahmin metodunu kullanarak quadrotor dinamiklerini lineer durum uzay modeli olarak uyguladılar [3]. 2012 yılında, Rich bir GAUI 330X-S quadrotor platformu üzerinde çalışarak, iç içe döngü PID kontrolörü ve LQR kontrol cihazı kullanmıştır. Bu çalışmaya benzer olarak, Vanin [4] bir Arducopter quadrotor üretti ve quadrotor Newton-Euler yaklaşımı ile modellenerek, model doğrusallaştırıldı. Laboratuvarın etrafına yerleştirilen hareket yakalama kameraları aracılığıyla quadrotorun itki giriş verisine karşı davranış açıları toplandı. Uyguladığı PID kontrolörü ile quadrotor'u bir test tezgahına sabitleyerek parametrelerini ayarladı. Çarpışma önleme algoritması uygulayarak otonom uçuş sağladı [5]. 2014 yılında, Yiğit dört rotorlu rijit bir sistem üretti. Quadrotorun dinamik modelini oluşturdu ve quadrotoru kontrol etmek için PID kontrolör, Lyapunov tabanlı kontrolör ve geri adımlamalı kontrolör uygulayarak kontrol yöntemlerini karşılaştırdı. Mekanik sistem üzerinde yapılan denemeler

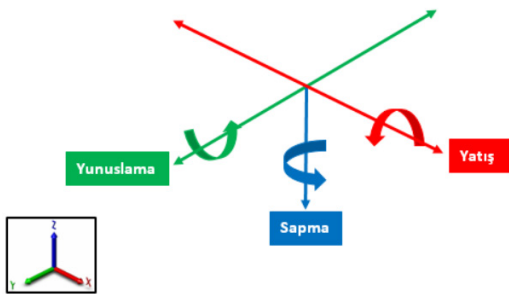
sonucunda, ivmeölçer ve dönüölçer çıkışlarından alınan verinin bir filtreleme gerektirdiği görülmüştür [6].

II. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Sistem Tanımı

Quadcopter, ileri-geri-sağ-sol hareket yönlerine sahip olan dikey iniş ve kalkış yapabilen dört rotorlu araçlardır. Aracın kalkışı ve hareketi dört pervane tarafından üretilen itki kuvveti ile sağlanmaktadır. Quadcopterde bulunan pervanelerin karşılıklı bir çifti saat yönünde dönerken diğer karşılıklı pervane çifti de saat yönünde dönmektedir. Pervaneler arasındaki dönme hızlarının farklılıkları değişken kuvvete ve torqa bunlar da aracın hareketine sebep olur [7]. Motorları kontrol etmek için kullanılan PID kontrol yöntemi Oransal, İntegral ve Türev için kullanılan bir kısaltmadır. Sistemdeki hatayla çarpılan bu terimler üç temel matematiksel fonksiyonu kullanmaktadır. PID kontrol yönteminde amaç sistemin görevi ne olursa olsun hatayı en aza indirmek ve sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır [8, 10]. Esas olarak bu yöntemde sistem girdisi alınır, davranış ya da sonuç sapması belirlenerek çıkışın en yüksek doğruluk değeri elde edilmesi sağlanır.

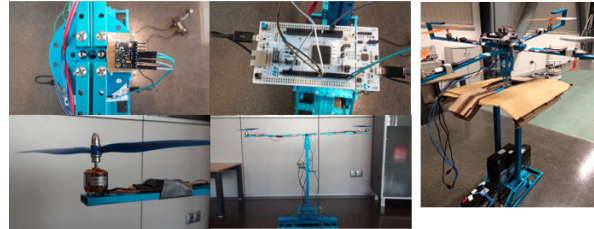
Quadrotorda uçuş için kullanılan temelde iki konfigürasyon vardır. Bunlar çapraz tip (x) ve artı tip (+) şeklindedir. Bu çalışmada basitlik ve dörtlü simetrik dinamik davranış gibi avantajları olan artı tip uçuş yapılandırma şekli kullanılmıştır. Yere sabitli olarak bir direk üzerinde bulunan ana gövde dört kola sahiptir. Artı şeklinde olan simetrik gövdenin her bir kolunda bulunan pervanelerin ürettiği tork ile itki kuvveti oluşmaktadır. Merkezinden sabitlenen sistem 3 serbestlik derecesine sahiptir. Şekil 1’ de belirtilen yatış hareketi x eksenini etrafında, yunuslama hareketi y eksenini etrafında ve sapma hareketi z eksenini etrafında rotasyonel yani dairesel hareket ile oluşmaktadır. Yatış hareketi aracın doğrusal olarak sağ ve sola, yunuslama hareketi aracın ileri ve geri yönelim hareketidir. Sapma ise dairesel aracın kendi etrafında sağ ve sol dönme hareketidir.



Şekil 1. Quadrotorun x, y ve z ekseninde hareketleri

2.2 Sistem Tasarımı

Test düzeneğinde, kontrol kartı olarak STM32F767ZI Nucleo geliştirme kartı kullanılmaktadır. İvmeölçer, dönüölçer ve manyetometre gibi AÖB verilerini elde etmek için BOSCH BNO055 sensörü kullanılmaktadır. Sensör ile kontrol kartının haberleşmesi I2C haberleşme protokolü ile sağlanmaktadır [11]. Kontrol kartından verilerin okunması ve komutların iletilmesi için de Evrensel Senkron ve Asenkron Alıcı Verici(UART) haberleşme protokolü ile yapılmaktadır. Makeblock XY Plotter iki eksenli çizim kiti parçaları kullanılmıştır. Farklı boyutlarda çubuk ve eklem parçalarından oluşan bu kitin tamamı alüminyum malzemelerdir. Mekanik parçaların planlanan tasarıma göre montajı yapılarak, mil – yatak düzeneği ile (her eksen için ayrı) quadcopterin yatış, yunuslama ve sapma hareketlerini yapabilmesi için eksenlerde hareket serbestliği olacak şekilde montajı sağlanmıştır (Şekil 2). Quadrotorun çap büyüklüğü 83 cm’ dir. KV yani 1V başına düşen devir değeri, ne çok düşük ne de sistemi kaldıracak kadar yüksek olmaması için 1000 KV’lik fırçasız doğru akım motor seçilmiştir ve bu motor uygun pervaneyle kullanılarak referans itki değerinin elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2. Quadrotor test düzeneği

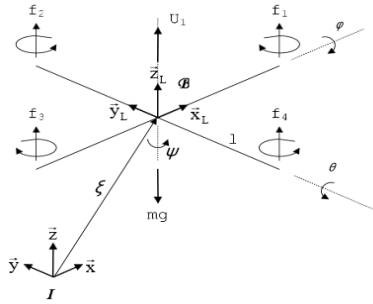
2.3 Sistemin Modellenmesi

Matlab ortamında yapılan çalışma gerçek test düzeneği çalışmasından bağımsız olarak yapılmıştır. Newton – Euler tabanlı dinamik model esas alınarak yapılan sistemin matematiksel modeli temelde PID kontrol ve hareket denklemleri olmak üzere iki alt sistem (subsystem)’ den oluşmaktadır. Sistem modellenirken üç adım takip edilmiştir: Gövde eksen sistemi denklemleri, hareket denklemleri, PID Kontrol denklemleri [9].

2.3.1 Gövde Eksen Sistemi

Şekil 3, rulo (ϕ açısı), perde (θ açısı) ve yaw (ψ açısı) hareketlerini üreten her bir rotorun kuvvetlerini göstermektedir. Ayrıca, sabit bir koordinat sistemi üzerinde olan kütle merkezi

$\vec{B} = [\vec{X}_L, \vec{Y}_L, \vec{Z}_L]$ üç eksen içeren ataletsel referans çerçevesi olan $\vec{T} = [\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}]$ 'e dönüştürülmelidir.



Şekil 3. Quadcopterde pozisyon ve yönelim[12]

Aracın yönelimi, \vec{B} sistemindeki yönelim değişikliklerini \vec{T} sistemine dönüştüren bir birim dikey rotasyon matrisi R tarafından verilir. Rijit bir cismin rotasyonu Euler açıları kullanılarak elde edilebilir.

$$R = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi - s\psi s\phi & c\psi s\theta c\phi + s\psi c\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi + c\psi c\phi & s\psi s\theta c\phi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tait – Bryan açılarının türevi olan $\dot{\theta} = [\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]^T$, dönüölçer tarafından ölçülebilen rijit gövdedeki açısal hızlar $= [p, q, r]^T$ dan ayrındır. $\dot{\theta}$ ve ω arasındaki ilişkiyi veren ifade, [13]:

$$\dot{\theta} = T\omega \quad (2)$$

[8] de verilen T , Euler Matrisi olarak bilinir.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

ϕ, θ ve ψ açıları küçük olduğunda(0 – 89 derece), denklem yaklaşık olarak Denklem 4’deki gibi gösterilir.

$$\begin{aligned} p &= \dot{\phi} \\ q &= \dot{\theta} \\ r &= \dot{\psi} \end{aligned} \quad (4)$$

6 serbestlik derecesine sahip olan rijit gövdenin kinematik denklemleri [2] ve [13] de verildiği gibi aşağıda anlatılmıştır:

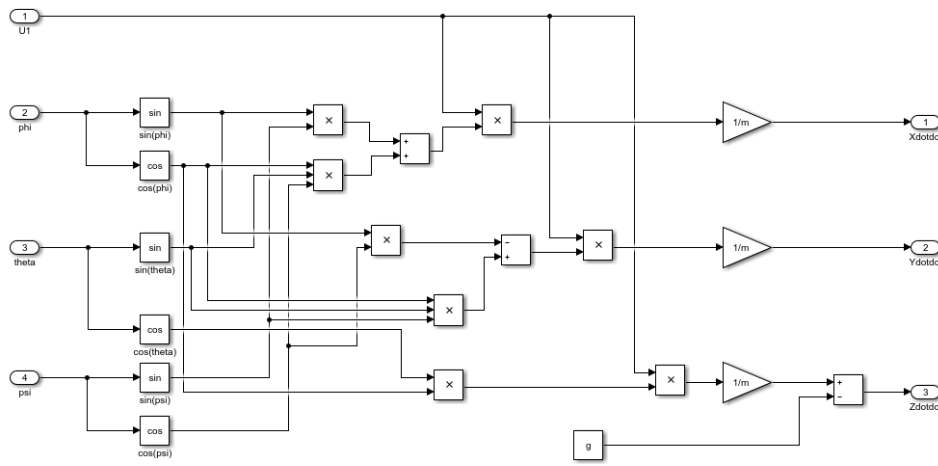
$$\xi = J_{\theta}v \quad (5)$$

ξ , atalet koordinat sistemine göre doğrusal ve açısal konum vektörünü içerdiği denklem $\xi = [\Gamma \ \Theta]^T = [X \ Y \ Z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$.

Benzer bir şekilde rijit gövdede sabitlenmiş koordinat sistemine göre doğrusal ve açısal konum vektörünü içerdiği denklem $v = [V \ \omega]^T = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$.

Bunlara bağlı olarak J_{θ} dönüşüm matrisi:

$$J_{\theta} = \begin{bmatrix} R & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & T \end{bmatrix} \quad (6)$$



Şekil 4. Gövde eksen sistemi Matlab/Simulink modeli(Liner Acceleration Subsystem)

2.3.2 Hareket Denklemleri

Dış kuvvetler altında rijit bir cismin kütle merkezine uygulanan ve gövdeye bağlı koordinat sisteminde ifade edilen dinamikler Newton-Euler denklemleriyle elde edilebilir [8]:

$$\begin{bmatrix} mI_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega x m V \\ \omega x I \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_B \\ \tau_B \end{bmatrix} \quad (7)$$

$I_{3 \times 3} \in R^{3 \times 3}$ birim matris ve m aracın toplam kütesidir. $I \in R^{3 \times 3}$ atalet momenti köşegen matrisidir.

$F_B F_B$ ve $\tau_B \in \vec{B} \tau_B \in \vec{B}$, Denklem 8 ve 9 'da ifade edilen rijit cisme uygulanan kuvvetleri ve dış momentleri gösterir.

$$R F_B = -mg e_3 + R e_3 (b \sum_{i=1}^4 \Omega_i^2) \quad (8)$$

$$\tau_B = - \sum_{i=1}^4 J_R (\omega x e_3) . \Omega_i + \tau_a \quad (9)$$

Yerçekiminin ivmesi g ile temsil edilir, e_3 , R^3 'nin temel bir bileşenidir, J_R eksen etrafında rotorun dönme momenti, b itki katsayısıdır ve Ω_i rotorun açısal hızıdır.

Quadrotor U_1 'e uygulanan ve itki kuvvetinden sorumlu ana kuvvet, her bir rotor tarafından üretilen itki kuvvetlerinin toplamı olarak modellenmiştir. Üç eksene uygulanan tork Denklem 10 [9] olarak ifade edilir:

$$\begin{bmatrix} l(f_4 - f_2) = lU_2 \\ l(f_3 - f_1) = lU_3 \\ \sum_{i=1}^4 \tau_{M_i} = lU_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} lb(\Omega_4^2 - \Omega_2^2) \\ lb(\Omega_3^2 - \Omega_1^2) \\ d(\Omega_4^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 - \Omega_1^2) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Quadrotor motorları ve ağırlık merkezi arasındaki mesafe l ile ifade edilir. d sabiti, pervanelerin sürtünme katsayısıdır. Denklem 7' de daha önce belirtilen tüm denklemler yerine konularak, Denklem 11 elde edilir, burada quadrotorun doğrusal olmayan modeli açıklanmıştır [8].

$$\dot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\dot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\dot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{\phi} = \frac{I_{YY} - I_{ZZ}}{I_{XX}} q r - \frac{J_{TP}}{I_{XX}} q \Omega + \frac{lU_2}{I_{XX}}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{I_{ZZ} - I_{XX}}{I_{YY}} p r + \frac{J_{TP}}{I_{YY}} p \Omega + \frac{lU_3}{I_{YY}}$$

$$\ddot{\psi} = \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{ZZ}} p q + \frac{U_4}{I_{ZZ}} \quad (11)$$

Ω , karşılıklı dönüş yönlerinin çıkarılacağı yerde Denklem 12 kullanarak genel hız olarak tanımlanır.

$$\Omega = \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 + \Omega_4 \quad (12)$$

Quadrotor dinamikleri, kontrol algoritmalarında uygulanabilecek kolay bir evrik model sağlamak için basitleştirilmelidir. Denklemler (Denklem 11) sistemi durağan uçuş koşullarına yakın olarak yeniden düzenlenebilir, açılımların ürettiği etkiler göz ardı edilebilir. Bu bağlamda aşağıdaki denklem sistemi elde edilir (Denklem 13)[1].

$$\dot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

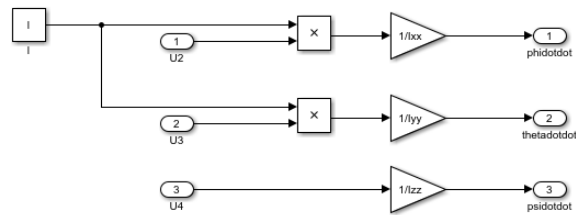
$$\dot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi + \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\dot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{\phi} = \frac{lU_2}{I_{XX}}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{lU_3}{I_{YY}}$$

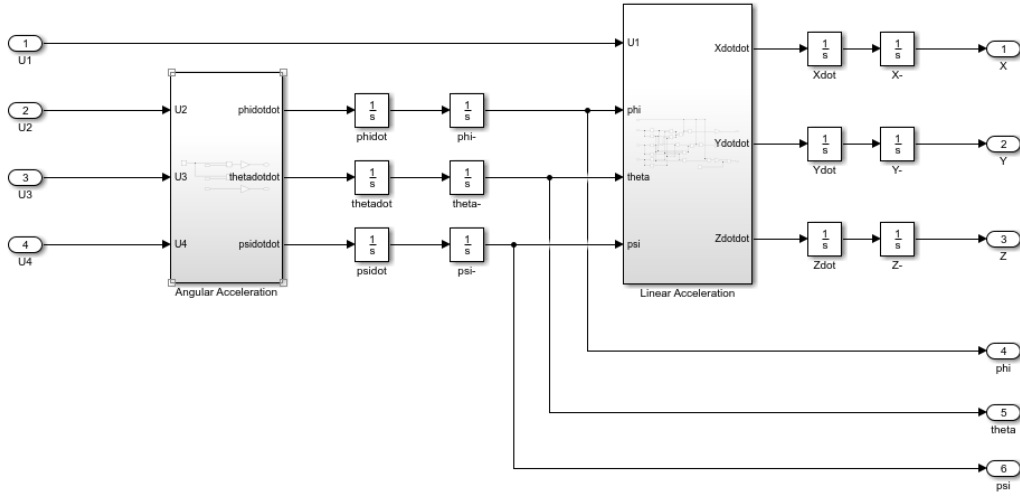
$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_{ZZ}} \quad (13)$$



Şekil 5. Denklem 13 Matlab/Simulink modeli

Artı tip(+) konfigürasyonda, ön-arka motor ve sağ-sol motor dikkate alınır. Matematiksel olarak artı tip konfigürasyonun kontrolü Denklem 14 ile ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \\ bl(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2) \\ bl(-\Omega_1^2 + \Omega_3^2) \\ d(\Omega_1^2 + \Omega_3^2 - \Omega_2^2 - \Omega_4^2) \end{bmatrix} \quad (14)$$



Şekil 6. Matlab/Simulink açısal ivme ve lineer ivme blokları

2.3.2 PID Kontrol Denklemleri

PID adından da anlaşılacağı gibi Oransal, İntegral ve Türev için kullanılan bir kısaltmadır. Sistemdeki hataya uygulanan bu terimler üç temel matematiksel fonksiyonu kullanmaktadır. PID kontrol yönteminde amaç sistemin görevi ne olursa olsun hatayı en aza indirmek ve sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Esas olarak bu yöntemde sistem girdisi alınır, davranış ya da sonuç sapması belirlenerek çıkışın en yüksek doğruluk değeri elde edilmesi sağlanır. PID kontrol yönteminin en sade formülü, Denklem 15’de gösterildiği gibidir [6].

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \right) \quad (15)$$

Quadrotoru kontrol etmek için kullanılan PID denklemi Denklem 16’daki gibidir [6].

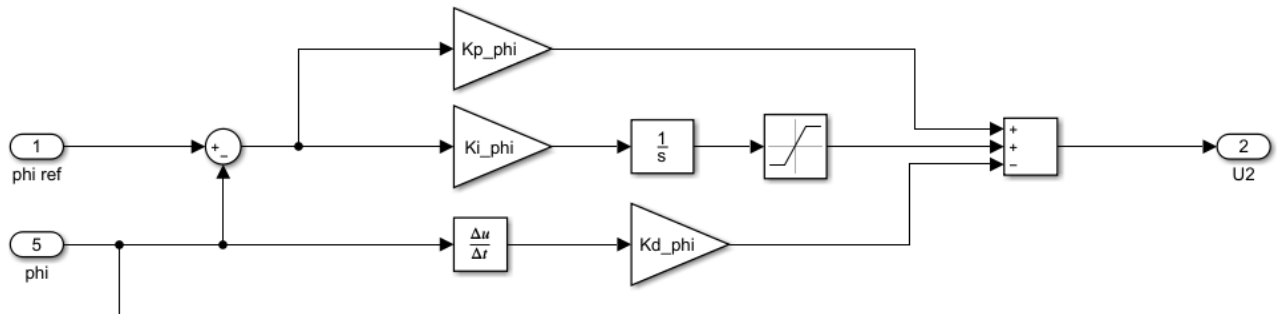
$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \left(\frac{de(t)}{dt} \right) \quad (16)$$

Quadrotorun yatış, yunuslama, dönme hareketlerinin PID kontrol denklemleri Denklem 17’de gösterildiği gibidir [6]. Şekil 7-9’da Denklem 16’da belirtildiği üzere paralel PID kullanılmıştır.

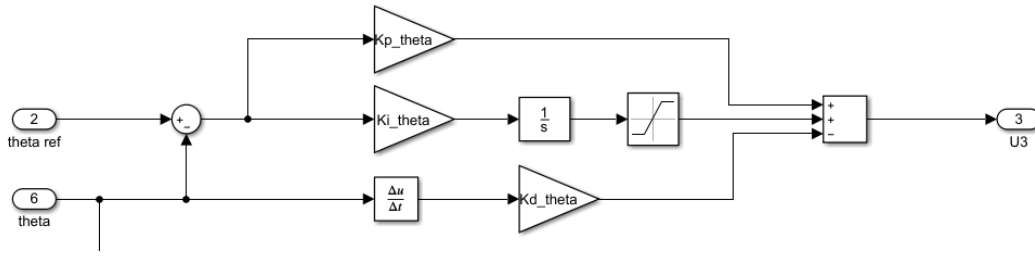
$$U_2 = K_{P\phi}(\phi_d - \phi) + K_{I\phi} \int (\phi_d - \phi) dt + K_{D\phi}(\dot{\phi}_d - \dot{\phi})$$

$$U_3 = K_{P\theta}(\theta_d - \theta) + K_{I\theta} \int (\theta_d - \theta) dt + K_{D\theta}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta})$$

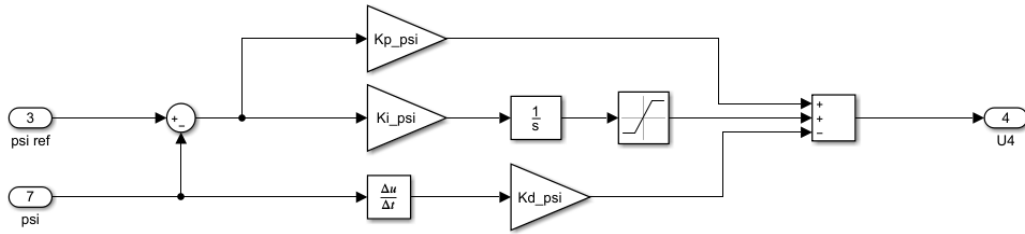
$$U_4 = K_{P\psi}(\psi_d - \psi) + K_{I\psi} \int (\psi_d - \psi) dt + K_{D\psi}(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) \quad (17)$$



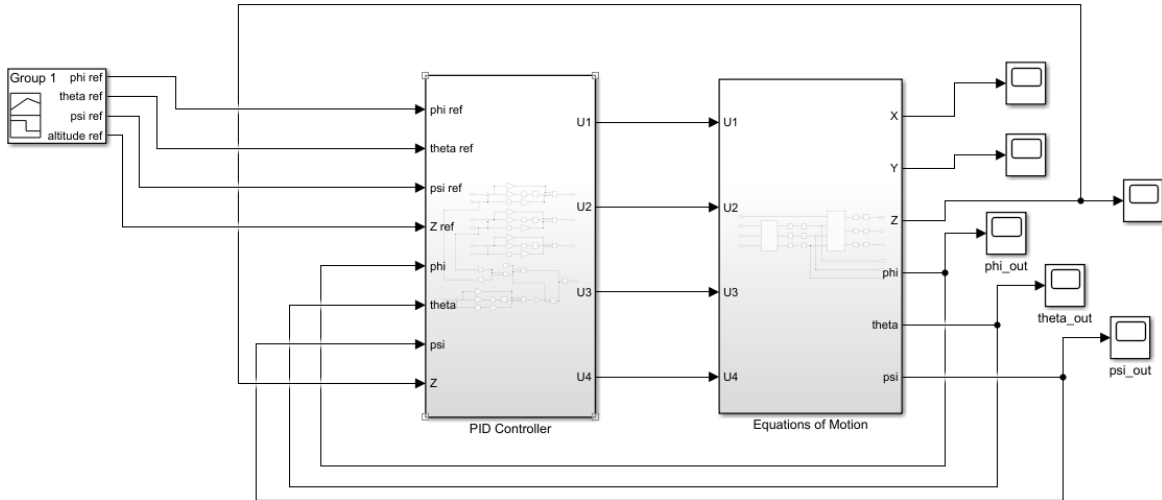
Şekil 7. Yatış PID kontrolü blok diyagramı



Şekil 8. Yunuslama PID kontrolü blok diyagramı



Şekil 9. Sapma PID kontrolü blok diyagramı

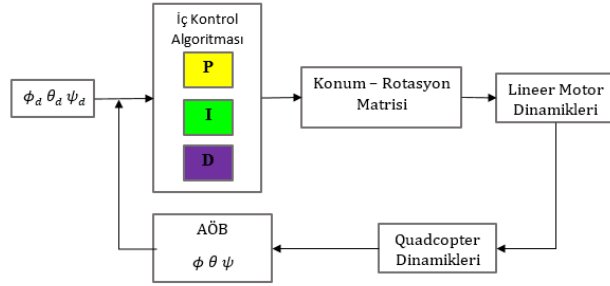


Şekil 10. Quadrotor sisteminin en genel Matlab/Simulink modeli

Şekil 10'de gösterilen en genel Matlab/Simulink modelinde PID kontrol alt sisteminin giriş parametreleri yatış, yunuslama ve sapma açılarının referans değerleri (ϕ_d, θ_d, ψ_d) ve kapalı döngüde bulunan denklemlerle hesaplanan anlık açı değerleridir (ϕ, θ, ψ). Sistem çıkış parametreleri ise yatış eksenindeki hareketin momenti U_2 , yunuslama eksenindeki hareketin momenti U_3 ve sapma eksenindeki hareketin

momenti U_4 'tür [6]. Yapılan test düzeneği ağırlık ile yere sabitlendiği için yerden yükseklik olarak ifade edilen irtifa mesafesi de sabit olarak kabul edilmiştir. Eksenlerde hesaplanan U_2, U_3 ve U_4 moment bilgileri hareket denklemleri alt sistemi içinde kullanılarak aracın açısal ve lineer hareketleri elde edilir. Şekil 11'de quadrotorun Matlab/Simulink

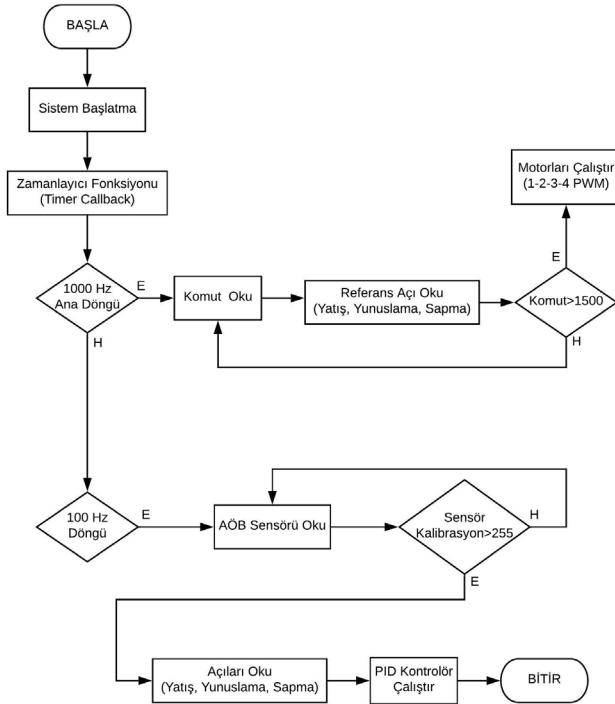
matematiksel modelinin özetini gösteren akış şeması verilmiştir.



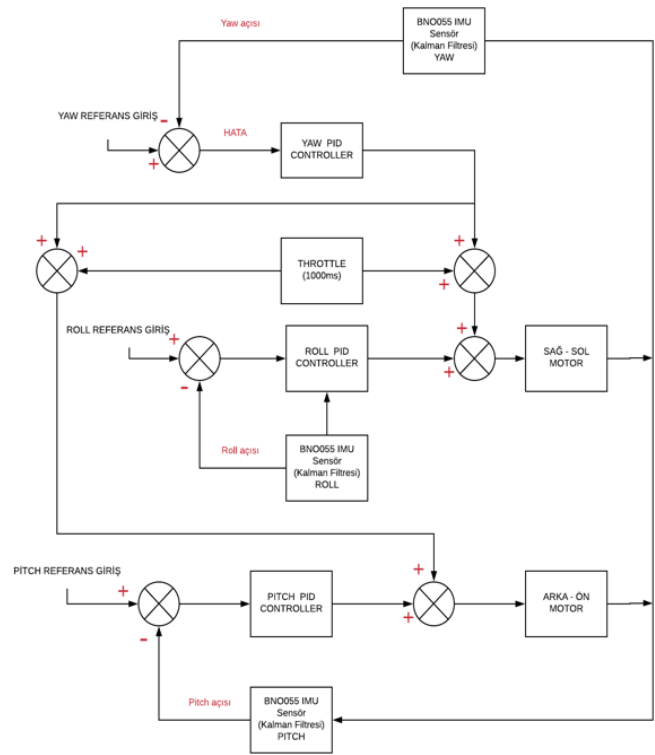
Şekil 11. Quadrotor Matlab/Simulink akış şeması

2.4 Yazılım Tasarımı

Mikrodenetleyici içinde çalışan yazılımsal algoritma Şekil 12’de verilmiştir. Gerçek zamanlı olarak kumanda tarafından başlama ve eksenlerdeki açı bilgisi alınır. Sistemin dengede kalacağı, istenen açı değeri referans olarak girilir. Sistemin anlık açı değerini BNO055 açı sensörü verir. Bu sensörden okunan dönü ölçer, ivmeölçer ve manyetometre değerleri birim olarak dereceye dönüştürülür.



Şekil 12. Yazılım akış diyagramı



Şekil 13. PID algoritmasının akış diyagramı

Sensörden okunan anlık açıyla referans verilen açı arasındaki fark hata değeridir. Şekil 13’te gösterilen PID algoritmasında bu hata değerine uygun katsayılarla PID uygulanarak motor sürücülerine istenen açıya getirecek şekilde PWM sinyalleri gönderilir ve motorlar dengeye gelir.

III. BULGULAR

3.1 Ataletsel Ölçüm Birimi Sensörü Sonuçları

AÖB sensöründen okunan ivmeölçer ve dönü ölçer verileri karşılaştırıldığında iki verinin de farklı hataları bulunmaktadır. İvmeölçer titreşimden etkilendiği doğru açı değerini verememektedir. Dönü ölçerde ise kayma hatası gerçekleştiği için anlık kesin değer verememektedir. Fakat incelenen grafiklere göre dönüölçer ivmeölçere göre daha doğru açı bilgisini vermektedir. Dönü ölçer ve ivmeölçerden alınan açı bilgilerini tek başına kullanmak yerine Tamamlayıcı Filtre ve Kalman filtresi uygulanarak karşılaştırması yapılmıştır. Kalman filtresi sistem çalıştığında oluşan titreşim altında en doğru açı bilgisini verdiği için sistem kontrol edilirken Kalman filtresi kullanılması kesinleştirilmiştir. Kalman filtresi ile yatış, yunuslama ve sapma eksenlerindeki açı değeri sensör içinde birleştirilerek elde edilmiştir [14].

3.2 Matlab Simulink Modeli Sonuçları

Quadrotor test düzeneğinin fiziksel parametreleri Tablo 1’ de belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Bu parametreler Matlab/Simulink deki model içinde tanımlanarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Sistemin fiziksel parametreleri

Parametre	Sembolü	Değeri
Quadrotor toplam kütle (kg)	m	2,056
Kol uzunluğu (m)	l	0,344
Quadrotorun x eksenindeki atalet momenti (kg.m ²)	I_{xx}	0,062
Quadrotorun y eksenindeki atalet momenti (kg.m ²)	I_{yy}	0,062
Quadrotorun z eksenindeki atalet momenti (kg.m ²)	I_{zz}	0,073
Yer çekimi ivmesi (m/s ²)	g	9,81

Yatış, yunuslama ve sapma eksenlerine referans açı değeri sinyal kaynağı ile oluşturulmuştur. Her eksen için anlık açı değeri ile referans açı değeri arasındaki fark alınır. Bu fark hata değeridir, hata değeri oransal, integral ve türev kazançlarıyla çarpılır. Elde edilen oransal, integral ve türev düzeltme değerleri çıkışa uygunlanarak sistem referans açı değerine getirilir. PID denetleyicide kullanılan oransal, integral ve türev kazanç katsayıları Ziegler – Nichols yöntemi ile hesaplanmıştır [6]. Hesaplanan oransal, integral ve türev kazanç katsayıları Tablo 2’ de gösterilmiştir.

Tablo 2. PID kontrol katsayıları

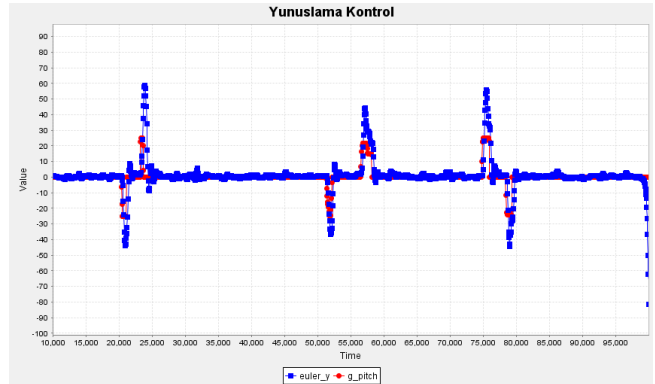
	PID Kontrol Katsayıları		
	K_p	K_i	K_d
Yatış (ϕ)	1,2	0,96	0,375
Yunuslama (θ)	1,2	0,96	0,375
Sapma (ψ)	4,54	1,2	4,3

Tablo 2’ de gösterilen katsayılar PID denetleyicisi üzerinde tanımlanarak, sisteme 10 derece yatış, yunuslama ve sapma açısı referans verilmiştir. Yatış ve yunuslama ekseninde sistemin kararlılığa geçme süresi yani referans değerine oturma zamanı 3.2 saniye olarak elde edilmiştir. Sapma yani dönme ekseninde ise kararlılığa geçme süresi 3.6 saniye hesaplanmıştır.

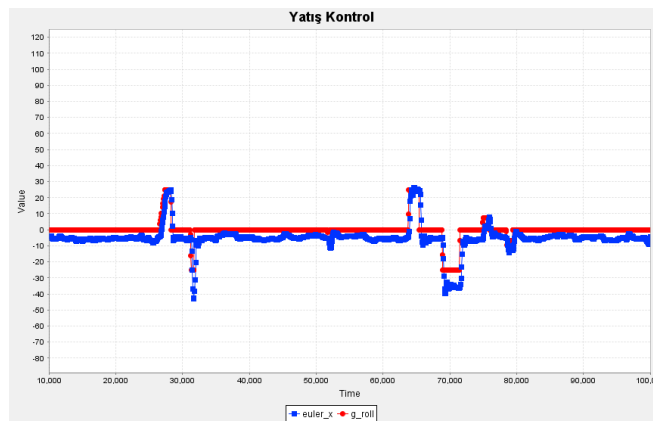
3.3 Quadcopter Test Düzeneği Kontrol Sonuçları

Bir önceki 3.2. Bölüm’ de, Matlab/Simulink ortamında elde edilen yatış, yunuslama ve sapma eksenlerindeki kararlılığa geçme süreleri sistemin kararlı çalışması için hesaplanan zamandan fazla çıkmıştır.

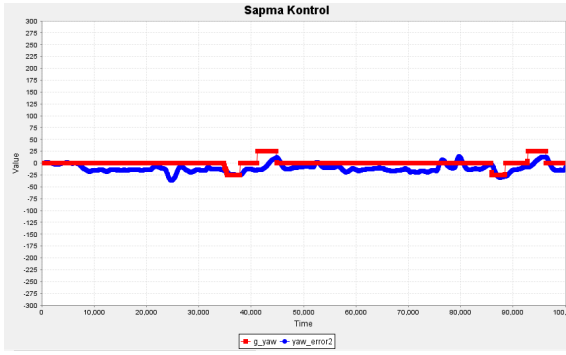
Sistemin eksenlerdeki referans değerini elde etme süresini azaltmak için gerçek quadrotor test düzeneği üzerinde PID katsayıları manuel şekilde tekrar ayarlanarak iyileştirme yapılmıştır. Şekil 7-9’ da grafiklerde görüldüğü gibi yatış, yunuslama ve sapma eksenindeki referans değerleri daha hızlı bir şekilde elde edilmiştir. Grafikteki kırmızı noktalar verilen referans değerlerini (giriş sinyali) mavi noktalar ise sistemin anlık açı değeri (çıkış sinyali) ni göstermektedir. Şekil 7-9’ da kırmızı ve mavi noktaların yoğun bir şekilde çakışması, quadrotorun referans değerlerine hızlı bir şekilde tepki verdiğini göstermektedir. Yunuslama ve yatış hareketlerinde kararlılığa geçme süreleri 1-2 ms gibi kısa bir süre olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 14. Yunuslama açısı için giriş sinyali ve çıkış sinyali



Şekil 15. Yatış açısı giriş sinyali ve çıkış sinyali



Şekil 16. Sapma açısı giriş sinyali ve çıkış sinyali

IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Dört rotorlu hava aracı olarak bilinen quadrotorun yere sabit bir test düzeneği üzerinde PID kontrol çalışmaları sonucunda teorik ve pratik uygulamalar arasında fark olduğu görülmüştür. Bunun temel nedeni sistemin matematiksel modelindeki eksiklikler, gerçek sistemin çevresel şartlardan etkilenmesi ve kullanılan teknik malzemelerin yapısal eksiklikleri olmuştur. Örneğin test düzeneği çalışırken rüzgar ve titreşim fiziksel faktörlerinden etkilenirken bilgisayarda çalışan modelde bu ihmal edilmiştir. Ayrıca Matlab/Simulink modelinde kullanılan parametreler ile sistemin gerçek modelinde farklılıkların olduğu da saptanmıştır. Joystick ile referans değeri verilerek çalıştırılan test düzeneğinde yazılımsal olarak kontrolü sağlanan yatış, yunuslama ekseninde kararlı bir kontrol elde edilirken sapma ekseninde yeterince kararlı bir kontrol elde edilememiştir. Bunun sebebi olarak da sensör verilerinin istenen kararlılıkta olmaması yani quadrotorun motorun oluşturduğu titreşim gürültüsünden ve çevresel şartlardan etkilendiği saptanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi – Teknoloji Fakültesi – Mekatronik Mühendisliği lisans bölümünde 22/06/2018 tarihinde sunulmuş bitirme projesidir. Tez çalışmasına İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik Eğitim ve Araştırma Merkezi (MEAM)’nde 2017-Güz işyeri eğitimi döneminde başlanmıştır. Test düzeneği İTÜ Siber Fizik Laboratuvarı’nda kurulmuştur. Kullanılan tüm materyaller bu laboratuvara aittir ve tüm test çalışmaları bu laboratuvarında yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Bresciani, T. (2008). Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter. Yüksek Lisans Tezi, Lund University, İsveç, s. 21-54.
- [2] Mahony, R., Hamel, T. ve Pflimlin, J. (2005). Complementary filter design on the special orthogonal group SO (3). Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, Seville, İspanya, 15 Aralık, IEEE.
- [3] Stanculeanu, I. ve Borangiu, T. (2011). Quadrotor black-box system identification. World Academy of Science, Engineering and Technology, 5, 300-303.
- [4] Rich, M. (2012). Model development, system identification, and control of a quadrotor helicopter. Lisans Tezi, Iowa State University, ABD, s. 5-29.
- [5] Matteo, V. (2013). Modeling, identification and navigation of autonomous air vehicles. Yüksek Lisans Tezi, Kungliga Tekniska Högskolan, İsveç, s. 68-81.
- [6] Yiğit, Z. (2014). Modeling And Control Of Quadrotor Unmanned Aerial VTOL Vehicle, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, s. 10-37.
- [7] Rimestad, M., Petersen, C. F., Hansen, H., Larsson, S. ve Bo L. (2008). Autonomous Hovering with a Quadrotor Helicopter. Aalborg Universitet, Danimarka.
- [8] Olfati-Saber, R. (2001). Nonlinear control of underactuated mechanical Systems with Application to Robotics and Aerospace Vehicles. Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, ABD, s. 32-47.
- [9] Fernando, H., De Silva, A., De Soysa, M., Munasinghe, S. ve Dilshan, K. (2013). Modelling, Simulation and Implementation of a Quadrotor UAV. IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems, ABD, 1 Aralık, IEEE.
- [10] Oflaz, T. (2013). Dört Rotorlu Hava Aracının İrtifa Denetimi İçin Doğrusal Olmayan Denetleyici Tasarımı ve Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye, s. 32-45.
- [11] Leens, F. (2009). An introduction to I²C and SPI protocols. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 12, (1), 8-13.
- [12] Vianna Raffo, G. (2007). Modelo y Control de un Helicoptero Quadrotor. Yüksek Lisans Tezi, Universidad de Sevilla, Sevilla, s. 10.
- [13] Bouabdallah, S., Murrieri, P. ve Siegwart, R. (2004). Design and control of an indoor micro quadrotor. In Robotics and Automation, 2004 IEEE International Conference, 5, 4393-4398.
- [14] Günhan, Y. (2014). Detection and Compensation of Inertial Measurement Unit Error. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye, s. 22-56.

Akıllı Mutfak İçin Tasarlanmış Sistemler Üzerine Bir Derleme

A Review on Systems Designed for the Smart Kitchen

Zehra K. KÜÇÜK¹ , Nazmi EKREN² 

¹Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, 34722, Göztepe Kampüsü, Kadıköy, İstanbul

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 34722, Göztepe Kampüsü, Kadıköy, İstanbul

Öz

Günümüzde hızla gelişen teknoloji ile birlikte birçok yenilik de hayatımıza girmiş bulunmaktadır. Bunların başında ise hayatımızı kolaylaştıran çeşitli akıllı sistemler gelmektedir. Yaşamımızın her alanına uyarlanabilen bu sistemlerde amaç hayatı kolaylaştırmanın yanı sıra enerjiyi etkin kullanmaktır. Nesnelerin interneti ile de entegre edilmiş ve iyi tasarlanmış akıllı bir sistem her açıdan kullanıcı konforuna hizmet etmektedir. Her birey ve ortam için uygun nitelikte tasarlanmış çalışmalar yaygın şekilde görülmeye başlanmıştır. Bu çalışmada ise akıllı ev kavramından yola çıkılarak, çeşitli senaryolara dayanarak üretilmiş ve birçok ek sistemle desteklenmiş güncel akıllı mutfak tasarımları incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda da görüleceği üzere akıllı olmayan bir sisteme kıyasla enerji, zaman ve konfor gibi öğeler göz önüne alındığında akıllı bir sistemi tercih etmek her zaman daha mantıklı hale gelmiştir.

Anahtar kelimeler: akıllı mutfak, buzdolabı, akıllı bina, enerji tasarrufu, nesnelerin interneti, makine öğrenmesi, yapay zeka, zaman tasarrufu

Abstract

Today, with the rapidly developing technology, many innovations have entered our lives. The first of these is the various systems that make our life easier. These systems can be adapted to any area of our lives. The purpose of these systems is to use energy effectively as well as making life easier. If the system is well designed and integrated with the internet of things, it serves user comfort in every respect. Studies designed for each individual and environment have started to be widely seen. In this study, the concept of smart home was started and contemporary smart kitchen designs that are produced based on various scenarios and supported by many additional systems are examined. Given the elements such as energy, time and comfort, it has always been more logical to choose a smart system. This is also seen in the studies examined.

Keywords: smart kitchen, refrigerator, smart building, energy saving, internet of things, machine learning, artificial intelligence, time saving

1. GİRİŞ

Akıllı bina sistemleri, kontrol edilmek istenilen sisteme ait verilerin alınıp gerekli değerlendirmelerin yapılarak istenilen çıktının elde edilmesi sistemi şeklinde tanımlanabilir. Bu sistemlerde temel kriter, etkin enerji kullanımı ile optimum fayda sağlamaktır. Binalarda; iklimlendirme, aydınlatma, yangın önleme, alarm, dış cephe ve çatı, güvenlik gibi birçok konuda akıllı bir sistem kurulabilir. Daha alt sistemler düşünüldüğünde; eğlence, sağlık, bebek ve hayvan görüntüleme, bahçe işleri, eğitim vb. amaçlarla bina içinde daha spesifik alanlara uygun sistemler tasarlanıp entegre edilebilmektedir. Burada temel amaç kullanıcı konforu sağlayıp hayatı kolaylaştırmaktır. Günümüzde sürdürülebilir enerji, kullanıcı konforu ve zaman tasarrufu oldukça önemlidir. Özellikle alışveriş merkezi, okul, hastane, ofis binaları gibi toplu ve çok kullanılan alanlarda akıllı sistemlerin kullanılması daha etkin olmaktadır. Artık hayatımızın her alanına girmiş bulunan ‘nesnelerin interneti (IoT: internet of things)’ sayesinde ise akıllı bir sistem tasarlamak daha da kolaylaşmıştır. Kontrol mekanizması genellikle

çeşitli sensörlere bağlıdır. Sensörlerden alınan veriler sayesinde kontrol edilmek istenilen nesnenin, ortamın veya çevrenin bilgisi alınmış olur ve gerekli değerlendirmeler yapılarak gerekli çıktılar sağlanır. Alınan çıktılar sayesinde sistem istenilen şekilde ve doğrultuda kontrol edilebilmektedir. Bu mekanizmalar kullanıcıya mekandan bağımsız bir şekilde kontrol imkanı sunarak kullanılabilirliği artırmaktadır.

Akıllı evler ise bireysel anlamda hayatı kolaylaştıran, enerjiden ve zamandan tasarruf sağlayan, insan güvenliği ve konforunu amaçlayan akıllı bina sistemleri kapsamında yer almaktadır. Bir annenin bebeğiyle alakalı durumları kontrol etmesinden bir yaşlının evdeki durumları kontrol etmesine varıncaya kadar sayısız senaryoya bağlı olarak çeşitli tasarımlar yapılabilmektedir. Bütün bunlara ek olarak sistem, yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, makine öğrenmesi ile desteklendiğinde düşük hata oranıyla çalışan, enerji etkin, kullanıcı konforlu, güvenli bir sistem elde edilmiştir. Mutfak, ev içi üretimin ve tüketimin merkezi olduğu için oldukça önemli bir mekandır. Hem enerji ve zaman tasarrufu açısından hem israfın önüne geçilmesi açısından akıllı bir sistem ile entegre edilmiş bir mutfak insan hayatında gereklilik kazanmıştır. Ayrıca çeşitli hastalıkları olan veya engelli bireylerin yaşam kalitelerini artırmak için yardımcı sistemler şeklinde tasarlanmış sistemler mutfaklara entegre edilebilmektedir. Tüm bunların yanı sıra mutfakta meydana gelebilecek yangın, gaz kaçağı gibi olağan dışı durumlar için çeşitli senaryolar üretilerek tedbir ve güvenlik sağlayacak sistemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde insan gereksinimlerini karşılama ve konforunu sağlamayı merkez alarak yapılmış enerji etkin, çevreci, kullanışlı birçok akıllı mutfak sistemi mevcuttur. Son yıllarda teknoloji hızla geliştiği, yenilikler hayatımıza hızla girdiği için bu makalede özellikle son yıllarda yapılan akıllı mutfak odaklı çalışmalar incelenerek güncel gelişmeler değerlendirilmiştir.

II. AKILLI MUTFAKLA İLGİLİ SON GELİŞMELER

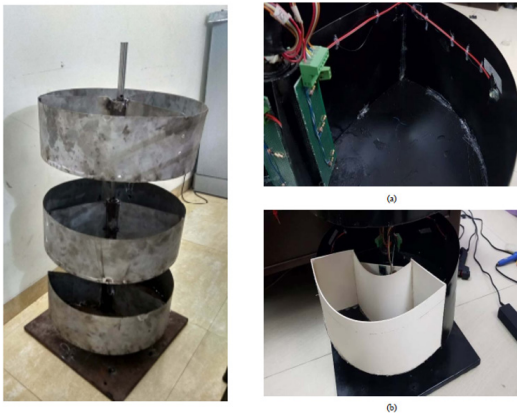
Güncel akıllı mutfak çalışmaları, günümüz teknolojisi ve insan gereksinimleri doğrultusunda, mutfağın ve mutfakta bulunan materyallerin uzaktan/yakından erişilerek kontrol edilebilmesini sağlamak, mutfakta meydana gelen olağan dışı durumlara müdahale edilebilmesini sağlamak ve akıllı sistemlere ek çeşitli sistemler ile konforu artırmak gibi birçok amaçlarla yapılmıştır.

2.1. Envanter Kontrollü Sistemler

Rezwan S. ve ark. [1], IoT'ye dayanan, mutfak, ilaç, restoran envanterini yönetmeyi daha verimli ve sorunsuz hale getirecek bir sistem olan akıllı mutfak envanter yönetim sistemi (Smart kitchen inventory management system: SIMS)

önermişlerdir. Önerilen sistemi simüle etmek için farklı sensörlerle birleştirilmiş dokuz bölme içeren küçük bir prototip kabin üretmişlerdir (Şekil 1). Bu sistem, yalnızca mevcut envanterlerini kullanıcılara bildirmekle kalmaz, aynı zamanda miktar azalırsa yeni ürünler için otomatik olarak sipariş verir. Kullanıcılar, doğrudan SIMS uygulamalarından herhangi bir malzemeyi almak için çevrimiçi sipariş verebilirler. Ayrıca kullanıcı belirli bir zaman dilimi listesi oluşturabilir, böylece harcamaları hakkında bilgi sahibi olur. Buna ek olarak, kullanıcı sipariş durumunu ve sipariş geçmişini web sitesi üzerinden takip edebilir. Son olarak, "SIMS'in bir parçası olan Akıllı Mutfak Envanteri (Smart Kitchen Inventory: SKI, mevcut yiyeceklerin gerçek zamanlı verilerini toplayan ve veritabanına gönderen bir yazılıma sahip) sayesinde, insanlar web sitesi veya android uygulaması aracılığıyla her yerden çalıştırılabilecekleri ve istedikleri zaman istedikleri her şeyi sipariş edebilecekleri için market alışverişinin zorluklarını unutabilirler" şeklinde bir ifade bulunmuşlardır. Buzzelli M. ve ark. [2], evrimsel sinir ağlarına dayalı, sebze ve meyve tanıması için en son teknolojiyi sunduklarını belirtmişlerdir. Önerilerini, yerleşik kameralar ile donatılmış akıllı mutfak/buzdolabı konsepti üzerine geliştirmişlerdir. Bu amaçla, tasvir edilen (görüntülenen) malzemelerin sınıfına (meyve, sebze gibi özellikler) göre özel olarak gruplandırılan ve adlandırılan bir veri kümesi oluşturmuşlardır. İki tür deney gerçekleştirmişlerdir: ilk olarak, son teknolojiye sahip farklı nöral mimarileri sebze ve meyve tanıma görevinde eğitmiş ve değerlendirmişlerdir. İkinci olarak, sistemlerinin nihai performansını daha da geliştirmek için bu tür sınıfların hiyerarşik yapısından yararlanan bir test düzeneği tasarlamış ve test etmişlerdir. Deneysel sonuçların, mevcut çözümlere kıyasla önerilen çözümün nicel üstünlüğünü gösterdiğini belirtmişlerdir. Jian-mei S. ve ark. [3], makalelerinde sensör, ZigBee, gömülü sistem, veritabanı, Web uygulaması, Android mobil geliştirme vb. gibi çeşitli teknolojileri entegre eden bir tür akıllı mutfak yönetim sistemi önermişlerdir. Çalışma, sistem yapısını, sistem fonksiyonunu, tasarım planını ve sistemin uygulanmasını tanıtmaktadır. Akıllı mutfak sistemi dört bölümden oluşur, birincisi mutfağın bilgi algılama alt sistemi; ikincisi, algılama altsisteminden bilgi alan ve daha fazlasını sunucuya ileten mutfağın ağ geçidi sistemidir; üçüncüsü, mutfak bilgilerini depolamak ve işlemek, algı ve mobil terminallerle iletişim sağlamak için kullanılan Web sunucusudur. Sonuncusu, uzaktan kumandayı gerçekleştiren ve mutfak bilgilerini kontrol eden mobil terminal alt sistemidir. Önerilen sistemin iyi uygulanabilirliği ve genişletilebilirliği olduğunu ve insanların yaşamlarının akıllılık seviyesini artırdığını belirtmişlerdir. Jarupunphol P. ve ark. [4], çalışmalarında, habersiz ve örgütlenmemiş şekilde satın alınan mutfak eşyalarının/

bileşenlerinin alımını azaltmak amacıyla akıllı mutfak yönetimi (smart kitchen management: SKM) için bir mobil uygulama tasarlamışlardır. SKM sisteminde iki ana aktör vardır: yönetici ve kullanıcı. Yönetici, QR kod üretir ve mutfak bileşenlerinin detaylarını (isim, resim, birim ve QR kod (Quick Response Code)) veri tabanına ekler. Kullanıcı, QR kod kullanılarak sisteme tanımlanan ürünleri ekleyebilir, silebilir ve değiştirebilir. UML (Unified Modeling Language: Birleşik Modelleme Dili) ve Z şemaları, sistemle ilişkili durumları temsil etmek için tasarım sürecinde kullanılmıştır. SKM durum şemasında ve işlem şemasında tanımlanan mantıksal argümanlar, SKM'nin nasıl tasarlanması gerektiğine ilişkin temel kuralları göstermektedir. SKM ayrıca, SKM'nin dört kullanılabilirlik boyutunu (yani, kullanılabilirlik, kullanım kolaylığı, öğrenme kolaylığı ve memnuniyet) ölçmek için USE Anketinden uyarlanan soruları içeren anket 180 katılımcı ile denemiştir. Deneysel sonuçlar uygulamanın düzgün çalışabileceğini ve mutfak eşyalarının/malzemesinin gereksiz satın alma sayısını ele alma potansiyeline sahip olduğunu ve ayrıca bu ürünlerin/malzemesinin önemine göre öncelik verdiğini göstermiştir. Arya A. ve ark. [5], çalışmalarında mutfak bileşenlerinin ölçümlerini yeni ve çekici bir tasarımla akıllı bir şekilde ele almaktadır ve bu tasarım herhangi bir zamanda bir android uygulaması veya web sitesi tarafından kontrol edilebilmektedir. Sistemdeki sensörler, bileşenlerin miktarını hesaplamak için kullanılır ve raspberry pi ile kontrol edilir. Burada miktar ölçmek için kullanılan sensör ağırlık sensörü değil ışık sensörüdür. Ayrıca sistem, bileşen seviyesini belirli zamanlarda kontrol ederek yakındaki mağazalardan sipariş vermektir. Bunlara ek olarak mutfaktaki ışıklar da kullanıcıya göre ısı sensörü ile kontrol edilmektedir. Bu tasarımın herkes için uygun fiyatlı bir tasarım olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarıyla Digital India'ya da katkıda bulunmayı amaçlamışlardır.

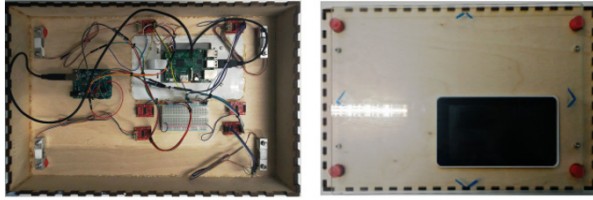


Şekil 1. SKI kabini resmi a) LDR/LED (Light Dependent Resistor/ Light Emitting Diode) sensörü ile seviye ölçümü (b) ağırlık ölçümü [1]

2.2. Yemek Pişirme Temelli Sistemler

Sasirekha S. ve ark. [6], bugün en önemli sorunlardan birinin mutfakta birçok malzemeye sahip olmak, ancak ne pişireceğini bilmemek olduğunu belirtmişlerdir. Makalelerinde esas olarak mutfakta bulunan gıda maddelerine göre uygun tarifler öneren bir sistem tasarlamışlardır. Her yiyecek madesi Radyo Frekansı Tanımlama (Radio-Frequency Identification: RFID) etiketi kullanılarak etiketlenir ve bir RFID kart okuyucu kullanılarak taranır. Taranan öğelere bağlı olarak, bu uygulama belirli bir zamanda mevcut gıda maddelerinden pişirilebilecek tariflerin bir listesini önerir. Önerilen makale API (Application Programming Interfaces) merkezlidir. API'lar arasındaki etkileşim RESTful (Representational State Transfer) web servisleri aracılığıyla sağlanmıştır. Kullanılan bu arayüzlerin ve haberleşme kaynaklarının kullanılabilirliği dolayısıyla kolayca genişletilebilirlik sağlayan, akıllı mutfak için kullanılan API'leri akıllı sağlık gibi diğer benzer uygulamalara da geliştirmeyi amaçlamışlardır. Çelik ve ark. [7], 'Choptop' adını verdikleri, deneyimsiz aşçılar için uygun; basit; tarif kılavuzu, uygun tartım ve zamanlama araçları içeren; etkileşimli bir doğrama tahtası önermişlerdir. Bu asistanın, özellikle yemek yapmayı öğrenmek için sınırlı zamanı olan ve bu nedenle yüksek fiyatlı ve sağlıksız alternatiflere yönelen öğrenciler gibi bireyler için yararlı olduğunu belirtmişlerdir. Choptop'un ekranında, kolayca zarar görebilen tarif kitapları ve mobil cihazlara olan ihtiyacı ortadan kaldıran adım adım talimatlar içeren tarif klavuzu görünür. Kullanıcılar yük sensörleri ile çalışan doğrama yüzeyine basarak Choptop'ta dolaşırlar(Şekil 2). Ayrıca tartım yapabilme özelliğine sahiptir. Yapılan testler, Choptop'un geleneksel yöntemlere göre çeşitli tariflerin kolaylığını ve doğruluğunu önemli ölçüde artırabildiğini göstermiştir. Kullanıcılar ayrıca karmaşık tarifleri takip ederken daha fazla keyif aldıklarını bildirmişlerdir. Sharath B. ve ark. [8], yemekleri kullanıcı zevkine göre pişiren otonom pişirme cihazının uygulama mekanizmaları hakkında bir çalışma yapmışlar, istenen yemekleri pişiren özerk bir pişirme sistemi tasarlamışlardır. Sistem: robot mekanizması, ısıtma mekanizması, pişirme mekanizması, öngörülü yapay zeka algoritması ve Android'den oluşmaktadır. Pişirme mekanizması, yapay zeka ve geleneksel sinir ağı eğitim algoritmaları kullanılarak farklı kullanıcılar için özelleştirilmiştir. Cihaz, günümüz yemeklerinde kullanılan ayrı cihazların aksine, tek bir cihaza gömülü kızartma, pişirme, çalkalama uygulamalarına sahiptir. Uygulama prototipi sebze ve sıvı bileşenleri içeren dokuz farklı bileşeni desteklemektedir. Kullanıcının tek sorumluluğu malzemeleri sistem tarafından belirtilen sırayla ve miktarda doldurmaktır. Sistem bulut bilgisayar ve yerel sürücülerle kontrol edilmektedir. Bu sistemin kullanıcılara sağlıklı, temiz ve besleyici gıdalar sağladığını ayrıca

düşük torklu dc motorları ve dc servo motorları sayesinde düşük maliyetli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yazılımın, kullanıcının pişirme şekline, damak tadına, daha önce pişirilen yemeklerin miktarına göre aylık hammadde tahmin etmesine ve yönetmesine ve yemekleri zamana göre programlamasına yardımcı olduğunu söylemişlerdir. Dziurzanski P. ve ark. [9], çalışmalarında ticari bir mutfakta yemek pişirme planlaması ve çizelgelemesine yardımcı, kapsamlı, bulut tabanlı bir uygulama geliştirmişlerdir. Tarifte yer alan bileşenlerin miktarları, pişirme süreleri, enerji miktarları, pişirme bölgeleri (sıcaklığa göre gruplandırılmış pişirme bölgeleri) gibi bilgileri sisteme tanımlanır. Klasik MOEA/D (Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition) çok amaçlı genetik algoritmanın bir kromozomunun kodlanmasını ve özelleştirilmesini önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliği, pişirme cihazlarının sayısı ve sipariş edilen gıda miktarına göre farklı senaryolar için deneysel olarak değerlendirilmiştir. Önerilen sistemin pişirme süresi, enerji kaybı ve gıda kalitesi arasındaki dengeleri belirlemeyi başardığını belirtmişlerdir.



Şekil 2. Choptop'ın iç tasarımı ve üstten görünümü [7]

2.3. Buzdolabı Temelli Sistemler

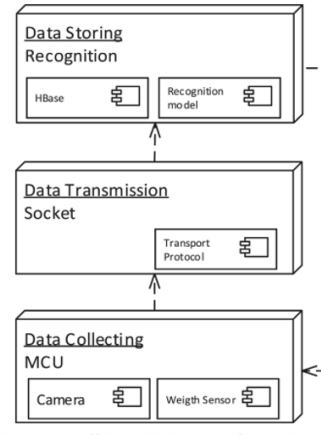
Ferrero R. ve ark. [10], israfi azaltmak amacıyla RFID teknolojisinin akıllı bir buzdolabı cihazında gıda envanterini etkinleştirmenin bir yolu olarak kullanımını analiz ettikleri bir çalışma yapmışlardır. Buzdolabı uygulaması, Doğal Dil Etkileşimi ve ürün tanımlamayı RFID etiketleri aracılığıyla birleştirerek, buzdolabı içeriğinin anında gözden geçirilmesini ve yakında tüketim süresinin dolacağı bir uyarıyı almanızı sağlamaktadır. Ayrıca, doğal dil aracısıyla entegre edilmiş gerçek zamanlı bir bulut veritabanının kullanılmasıyla, belirli bir ürünün evde kullanılabilirliğini otomatik olarak kontrol edilmesi veya tariflerin uygunluğunun belirlenmesi sağlanmıştır. Uygulama, Google® Assistant geliştirme çerçevesi ile entegre edilmiştir (Şekil 3) ve akıllı telefona sahip herkesin akıllı buzdolabı cihazıyla etkileşime girmesine izin veren akıllı bir uygulama eklentisi olarak geliştirilmiştir. Kullanıcı evde olmasa bile buzdolabına sesli asistan vasıtasıyla erişebilir. Son olarak, bu uygulama için kullanılan RFID okuyucu ve mikrodenetleyicinin yüksek bir fiyat

yükü gerektirmediğini ve standart bir buzdolabına entegre edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. Gao X. ve ark. [11], buzdolabının içindeki yiyeceklerin etkili ve doğru bir şekilde nasıl tanımlanacağı konusunu odak alarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Böylece kullanıcıların buzdolabını açmadan buzdolabındaki yiyeceklerin türünü, miktarını ve tazelikliğini bilebileceğini belirtmişlerdir. YOLO, SSD, R-CNN, Fast-R-CNN ve Faster-R-CNN gibi popüler algoritmaları incelemişler, buzdolabının gerçek iç durumu ile birleştirerek, SSD (Single Shot MultiBox Detector) hedef algılama algoritmasının buzdolabının içindeki yiyecekleri tanımlamak için en uygun algoritma olduğu sonucuna varmışlardır. Optimal algoritmayı belirledikten sonra, çalışmalarında SSD300 ve SSD512 algoritmaları tarafından yapılan VOC2007 veri seti ile ayrıntılı bir karşılaştırma testi yapmışlardır. Deneysel sonuçta SSD512'nin buzdolabının içindeki yiyecekleri tanımlamak için daha iyi olduğu saptanmıştır. Nasir H. ve ark. [12], nesnelere interneti ve akıllı mutfak evrimi fikrini birleştiren akıllı buzdolabı sistemi geliştirmişlerdir. Sistem; algılama modülü, kontrol modülü ve iletim modülü olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Algılama modülü yük bölmesi ve koku sensöründen oluşmakta, kontrol modülü Arduino UNO ve güç kaynağı ünitesinden oluşmakta ve son olarak, iletim modülü LCD ve Wi-Fi modülünden oluşmaktadır. Bu modüller, buzdolabının içindeki içerik durumunu belirlemek ve bir SMS veya e-posta yoluyla yiyeceğin durumu ve miktarı hakkında kullanıcıyı bilgilendirmek için birlikte çalışmaktadır. Bayya M. [13], ticari olarak satılan bir akıllı cihazın oldukça pahalı ve çalışma topluluğunun bir kısmı için bile çok erişilebilir olmadığını belirtmiştir. Bu bağlamda mevcut bir buzdolabı için geliştirilen, kural tabanlı bir algoritmaya sahip akıllı buzdolabı kavramı ele alınmıştır. Buzdolabının içini dondurucu, kapı ve raflar olmak üzere 3 bölüme ayırmış, eşyaların yerleşimini düzenleyen bir dizi özelleştirilmiş kurallar belirlemiş ve çeşitli sensörler yardımıyla içerdeki gıdaların miktar bilgisini almıştır. Sistemde kullanılan uygulama buzdolabından veri okumak için bir istek gönderir ve veriler telefona mesaj olarak gönderilir. Phuchamniphatthananon A. ve Pora W. [14], geleneksel bir ev buzdolabının donanımında yapılacak revizyonu önermişlerdir: Mevcut çevre birimleriyle geriye dönük uyumluluk sağlayan Wi-Fi özellikli bir ana kontrol kartı tasarlamışlardır. Mikrodenetleyici üzerinde, sistem verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve aynı zamanda gıdaların saklanma koşullarında veya kullanıcının sıcaklık tercihinde sıcaklığı korumak için basit bir öğrenme algoritması da uygulanmıştır. Daha hassas sıcaklık izleme ve kontrolü için gerçek gıda sıcaklığını yansıtan bir kablosuz sensör düğümü (Wireless Sensor Node: WSN) de kullanılmıştır. Elde edilen sonuç, buzdolabının soğutma döngüsü için %6,38 ve

buz çözme döngüsü için %7,18 ile daha yüksek verimlilik elde edebileceğini göstermiştir. Velasco J. ve ark. [15], çalışmalarında, Android uygulamasına erişerek buzdolabındaki stokları kablosuz olarak izleyebilecek bir envanter izleme oluşturmak için geleneksel bir buzdolabı, mikrodenetleyiciler ve akıllı telefonu birleştiren bir sistem sunmuşlardır. Geliştirilen buzdolabında, buzdolabının içindeki ilgili bölmelere monte edilmiş bir sensör ağı sistemi kullanılır. Her bir sensör, I²C (Inter-Integrated Circuit) iletişimleri ile birbirine bağlanan Arduino Yun ve Arduino Uno gibi mikrodenetleyicilere veri iletmektedir. Tüm veriler ve görüntüler, kullanıcıya bulut tabanlı Temboo web sitesi aracılığıyla nesnelere interneti uygulaması sağlamak için işlenmektedir. Temboo, Dropbox'a veri gönderme erişimine sahiptir ve tüm verilerin ve görüntülerin depolandığı Dropbox'a akıllı telefonla bağlanabilmektedir. Kullanıcı, Android uygulamasını kullanarak buzdolabının stoklarını veya içeriğini kablosuz olarak izleyebilmektedir. Zhang W. ve ark. [16], akıllı buzdolabı üzerine yaptıkları çalışmalarında kilo bilgisini ve çok derin öğrenme modellerini birleştiren bir meyve/sebze tanıma yaklaşımı önermişlerdir. Önerdikleri sistemde kamera ile alınan görüntüler vasıtasıyla sebze ve meyvelerin makine öğrenmesi sayesinde tanınması sağlanmıştır. Aynı zamanda ağırlık sensörleriyle alınan ağırlık bilgisi derin öğrenme ile kombinlenerek çoklu kaynaklı veri birleşimi yaklaşımı önerilmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Doğal dil etkileşimi ile buzdolabına erişim [10]



Şekil 4. Meyve/sebze tanımda çoklu kaynak yaklaşımlı sistem mimarisi [16]

2.4. Duyusal Etkileşim Temelli Sistemler

Schuhmacher L. ve ark. [17], çalışmalarında akıllı çevre teknolojilerinin duygusal deneyimlerle ilişkisini tanımlamışlardır. Kullanıcının duygularını artırmak için, akıllı bir mutfak ortamında bulunan global bir medya teknolojisi geliştirmişlerdir: Farklı atmosferik temalarla mutfak ambiyanasını değiştirebilen dokunma ve ses kontrollü Görsel Atmosfer Uygulaması (Visual Atmosphere App: VAA). Uygulama platformuna 5 adet projektör monte edilerek görsel ve sesli temalar denenmiştir (Şekil 5). Sistem 40 adet tema içermektedir. Nicel ve nitel laboratuvar kullanıcıları çalışmalarında, VAA'nın kullanıcının duygusal durumu üzerindeki etkisini ölçmüşlerdir. Bulguları, akıllı bir ortamdaki bu yaygın medya teknolojisinin duygu geliştirme üzerinde önemli etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Akıllı ortam kullanıcının kişisel tercihlerine uyuyorsa bu sonuç daha da güçlüdür. Bu çalışmanın, akıllı çevre teknolojilerinin istenen psikolojik durumları geliştirmesine neden olan duygusal deneyimlere doğru bir adım olduğunu ifade etmişlerdir. Basharudin N. W. ve ark. [18], Alzheimer hastaları için Uyarıcı-Yanıt Uyumluluğu (Stimulus-Response Compatibility: SRC) kavramına dayalı, pişirme faaliyetlerini tamamlamaya yönlendirmek için mutfak tezgahındaki ortam ipuçlarını tasarlamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Aktiviteler, Hiyerarşik Görev Analizine (Hierarchical Task Analysis: HTA) dayalı pişirme faaliyetlerinin sıralı iş akışına odaklanmıştır. Tezgaha yerleştirilen kırmızı ve yeşil LED'ler ile hasta hareketlerine uyarılar verilmektedir (doğru yaptığında yeşil LED, yanlış yaptığında kırmızı LED yanarak). Wizard-of-Oz metodu, teorik akıllı ortam ipuçlarının davranışını simüle etmek için kullanılmıştır. Önerilen sistem denenmiş ve sonuçlar göstermiştir ki; mutfaktaki ortam

ipuçlarının yardımıyla, aktivitenin ortasında kafa karışması veya aksaklık olsa bile hasta sonuna kadar görevi tamamlayabilmiştir. Ortam ipuçlarının etkinliğinin, hastanın hatalar

meydana geldiğinde pişirme akışını yönlendirmenin ipuçlarını kolayca anlayabildiğini gösterdiğini belirtmişlerdir.



Şekil 5. Sırayla: akıllı mutfak uygulama platformu, Halloween teması, Sushi teması [17]

2.5. Hava Ortamı Kontrol ve Yangın Önleme Temelli Sistemler

Nugroho F. ve Pantjawati A. B. [19], nesnelerin interneti'ni kullanarak mutfak güvenlik sisteminin prototipini yapmak amacıyla bir çalışma hazırlamışlardır. Sistem; sıcaklık ve nem, alev, gaz kaçağı ve insan aktivitesi tespiti sensörleri olmak üzere 4 tip sensör ve Arduino UNO kullanılarak tasarlanmıştır. Sensör çıkışları, röleyi kontrol edecek olan Arduino'ya bağlanır. Röle, gaz kaçağı, kontrolsüz yangın ve aşırı sıcaklık artışı durumunda fan anahtarı görevi görür. Bu koşullar altında, Arduino alarmı ve LED'i de açacak ve sunucuya bilgi gönderecektir. Sonuçlar, sistemin istenen spesifikasyonlara göre çalışabileceğini göstermiştir. Castorani V. ve ark. [20], çalışmalarında mutfak hava arıtımı için akıllı bir sistemle çevresel etkiler açısından sunulan faydaları araştırmayı amaçlamışlardır. Sistem birbirine bağlı iki akıllı cihazdan oluşmaktadır: bir mutfak davlumbazı ve enerji tüketimini ve ısı kayıplarını en aza indirgeyen, sabit bir iç mekan konforu sağlayabilen ek bir aspirasyon sistemi. Üç farklı konfigürasyon analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır: geleneksel aspiratör mutfak davlumbazı (A), akıllı aspiratör mutfak davlumbazı (B) ve akıllı ek aspirasyon sistemine sahip akıllı filtreleme mutfak davlumbazı (C). Her sistemin yaşam döngüsü üzerindeki çeşitli etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre; çevresel performans açısından en iyi çözümün C sistemi ancak sosyal açılarından en iyi çözümün A sistemi olduğu görülmüştür. Hsu W.L. ve ark. [21], pişirmek için bir gazlı ocak kullanıldığında, tencerede veya tavadaki yiyeceklerin veya yağın aşırı yüksek sıcaklık nedeniyle alev alabilir olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak, insanlar evden ayrılmadan önce gazlı ocağı kapatıp kapatmadıklarından emin olmayabileceklerini ve bu nedenle kontrol etmek için eve geri dönmek zorunda kalacaklarını söylemişlerdir. Bu sorunları çözmek için, çeşitli cihazlara ve işlevlere sahip bir akıllı mutfak yangın önleme sistemi

geliştirdikleri bir çalışma yapmışlardır. Önerilen sistemin sahip olduğu cihaz ve işlevler şöyledir: (1) Sensörler; ocak üzerine monte edilmiştir. Alevler, yüksek sıcaklık veya gaz kaçağı tespiti ettiklerinde, gaz beslemesini kapatmak için gaz kapatma cihazını hemen etkinleştirirler. (2) Alarm; yüksek bir ses çıkarır ve sakinleri uyarmak için yanıp söner. (3) Hat raporlama sistemi; sakinleri ve topluluk yönetim merkezini bilgilendirmek için hat mesajları gönderir ve ilgili personelin kaza ile başa çıkmak amacıyla eve girmesine izin vermek için ana giriş kapısını otomatik olarak açtırır. (4) Mutfak sakinlerinin cep telefonlarından gazlı ocağı izlemelerini sağlamak için mutfakta bir internet protokolü kamerası kuruludur. Kullanıcılar, gazlı ocağın hala açık olduğunu tespit ederse, gaz kaynağını telefonlarından kapatmak için gaz kapatma cihazını etkinleştirebilirler. Bu çalışmada geliştirilen sistemin, bir mutfak yangınından kaynaklanan kaybı etkili bir şekilde azaltabileceğini öngörmüşlerdir. Ralevski M., ve Stojkoska B. R. [22], küçük işleme birimlerini yapay zeka ve makine öğrenimi ile birleştirerek, günlük güvenliği artırmak için yeni kavram ve fikirlerin ufkunu genişletebileceklerini belirtmişlerdir. Çalışmalarında ev yangını ve gaz kaçaklarının erken tespiti için ucuz bir nesnelerin interneti tabanlı sistem tasarlamışlardır. Sıcaklığı ve gaz konsantrasyonunu ölçerek, mutfak ortamında ev yangınının artan olasılığını tespit ettikleri bir senaryoyu simüle etmişlerdir. İletişim sürecini optimize etmek ve ölçüm düğümünden sistem ağ geçidine gönderilen paket sayısını azaltmak için hareketli ortalama tahmin şemasına dayanan zaman serisi tahmin yaklaşımı uygulamışlardır. Tasarımının alt sistemi için kullandıkları donanım bileşenleri: Raspberry Pi 1 Model B, MQ5 gaz ölçüm sensörü, basit mantık seviye dönüştürücü, MCP3008 analogdan dijitale dönüştürücü şeklindedir.

2.6. Diğer Akıllı Mutfak Sistemleri

Minh V.T. ve Khanna R. [23], günlük yaşamda kullanılan buzdolabı, ocak ve mikrodalga gibi mutfak aletlerinde akıllı ev otomasyon sisteminin nasıl tasarlandığı ve kullanıldığını tartışmışlardır. Çalışmalarında wireless, mikrodenetleyiciler, MATLAB arayüzleri ve mutfak monitörü kullanan yeni bir mutfak otomasyon sistemi tasarımı önermişlerdir. Kontrol görevlerini yerine getirmek için Arduino Uno modülü kullanılmıştır. Bu modül sinyalleri toplar, işler ve bir zig bee ünitesi kullanarak raspberry PI modülüne kablosuz olarak gönderir. Raspberry PI, cihazların akıllı telefonlarla kontrol edildiği bir açık HAB (open-HAB: Home Automation Bus) sunucusunu çalıştırır. ‘Kool kitchen’ adını verdikleri mobil uygulama ile de kullanıcının mutfakta kontrol etmek istediği altbirimi (buzdolabı, ocak, mikrodalga) kolaylıkla kontrol etmesini sağlamışlardır. Kashyap S. ve ark. [24], içindeki cihazların, mutfak tezgahlarına entegre edilen endüktif güç kaynakları (PTx: power transmitter) ile beslediği kablosuz bir mutfak önermişlerdir. Uygulama ve PTx, yakın alan iletişimi (near-field communication: NFC) kanalı kullanarak kontrol bilgilerini değiştirmektedir. Haberleşmedeki çeşitli sorunların üstesinden gelmek için kullandıkları TCP (Transmission Control Protocol: Gönderim Kontrol Protokolü) protokolüne ek olarak kanallı algılama mekanizması önermişlerdir. Önerdikleri çözümleri kablosuz mutfak test düzeneğine uygulamış ve değerlendirmişlerdir. Bu çözümlerin sahte yeniden iletim ve paket damlalarını neredeyse tamamen ortadan kaldırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, NFC zaman aralığı modunda 24 kbps’de % 53’e kadar daha düşük uçtan uca gecikme elde etmişlerdir. Swain S. ve Niyogi R. [25], akıllı ortamların, kullanıcı bağlamı ile cihaz ve hizmetlerin kullanılabilirliği açısından dinamik olduğunu belirterek bu ortamlardaki bir sorun olarak; bir hizmetin, bu tür ortamlarda kullanılamaması durumunda kullanıcının talebini karşılamak olduğunu söylemişlerdir. Bu soruna çözüm olarak çalışmalarında mevcut olmayan bir hizmete karşılık gelen işlevsel olarak eşdeğer bir hizmet sağlayan yeni bir yöntem geliştirmişlerdir (FESC: Functionally Equivalent Service Composition: İşlevsel Olarak Eşdeğer Hizmet Bileşimi). İşlevsel olarak eşdeğer bir hizmet elde etmek için meta-akılcı ağaç kullanan bilgiye dayalı bir sistem kullanılmıştır. Yaklaşımı doğrulamak için, mevcut olmayan bir bileşeni yapısal veya işlevsel olarak eşleştiren bir bileşen öneren akıllı bir pişirme sistemi SmartChef geliştirmişlerdir.

Tablo 1’de, incelenen tüm çalışmaların kısa bir özeti sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışma özetleri ve özellikleri

Referans	Yapılan çalışma	Genel özellikler	Teknik özellikler
Rezwan S. ve ark. [1]	IoT tabanlı akıllı mutfak envanter yönetim sistemi	Kullanıcı web veya akıllı telefon ile sistem kontrollerini sağlayabilir.	LDR/LED ve ağırlık sensörü. Arduino Mega ve Node MCU.
Buzzelli M. ve ark. [2]	YSA’ya dayalı sebze/meyve tanıma sistemi. Kameralarla donatılmış buzdolabı üzerinde geliştirilmesi.	Kameralarla alınan görüntüler ile eğitilir ve malzemeler sınıflandırılarak hiyerarşik yapı oluşturulur.	CIFAR-10 veriseti ve NASnet.
Jian-mei S. ve ark. [3]	Akıllı mutfak yönetim sistemi.	IoT tabanında mutfaktaki dataların toplanması, işlenmesi ve uygulanması aşamaları açıklanmıştır. Akıllı bir mutfak sistemi tasarımı önerilerek irdelenmiştir.	ZigBee, web server, android, ışık sensörü, insan algılama sensörü, gaz sensörü, duman sensörü, basınç sensörü
Jarupunhol P. ve ark. [4]	Akıllı mutfak yönetimi için mobil uygulama tasarımı.	Sisteme tanımlanan bileşenler mobil uygulama ile kullanıcı tarafından kontrol edilebilir.	QR kod, Android Stüdyo, UML ve Z şemaları.
Arya A. ve ark. [5]	Mutfak bileşenlerini ölçen akıllı mutfak sistemi ve uygulaması.	Işık sensörü ile alınan miktar bilgisi sisteme iletilir. Kullanıcı web veya android ile sisteme ulaşabilir. Sistem, seviyesi azalan bileşeni sipariş verebilir.	Arduino Uno ve Raspberry Pi, ışık sensörü, ısı sensörü.
Sasirekha S. ve ark. [6]	Mutfakta bulunan gıda maddelerine uygun tarifler öneren sistem.	Kullanıcı web aracılığıyla sistemi kontrol edebilir. Sistem kullanıcıya, uygun tarifler önerir.	RFID, API, RESTful web.
Çelik ve ark. [7]	İnteraktif doğrama tahtası: Chotop.	Chotop adı verilen doğrama tahtasında tarif klavuzu, tartım yapma özelliği mevcuttur.	Yük sensörleri, Raspberry Pi
Sharath B. ve ark. [8]	Kullanıcı zevkine göre yemek pişiren özerk pişirme sistemi.	Tek cihaza gömülü kızartma, pişirme, çalkalama özellikleri mevcuttur. Kullanıcının tek sorumluluğu, malzemeleri sistem tarafından belirtilen sırayla ve miktarda doldurmaktır.	DC motorlar, H-Bridge sürücü, Öngörülü yapay zeka algoritması, Android, REST server.

Referans	Yapılan çalışma	Genel özellikler	Teknik özellikler
Dziurzanski P. ve ark. [9]	Ticari bir mutfakta yemek pişirme planlaması ve çizelemlerine yardımcı uygulama.	Bir genetik algoritmanın bir kromozomu değiştirilerek yeni bir algoritma üretilmiştir. Algoritma, tarifte bulunan maddelerin pişme sürelerini, pişme sıcaklıklarını, enerji miktarları tanımlar ve ticari mutfakta pişirme planlaması için kolaylık sağlar.	MOEA/D
Ferrero R. ve ark. [10]	Akıllı buzdolabıyla entegre gıda envanteri sistemi.	Sistem mevcut ürünlere uygun tarif ve rebilir ve son tüketim tarihi yaklaşmalar için uyarı verir. Ses aracılığıyla etkileşim sağlanabilen sisteme kullanıcı her yerden erişebilmektedir.	RFID, Google® Assistant
Gao X. ve ark. [11]	Buzdolabı içindeki gıdaları en iyi tanımlayan algoritma önerisi.	YOLO, SSD, R-CNN, Fast-R-CNN ve Faster-R-CNN gibi popüler algoritmaları incelemiş ve buzdolabı içindeki gıdaları tanımda en iyi algoritmanın SSD olduğu tespit edilmiştir. Kullanıcı malzeme türü, miktarı ve tazeliğine erişebilir.	SSD300, SSD512, VOC2007, SSD
Nasir H. ve ark. [12]	IoT tabanlı akıllı buzdolabı sistemi.	Sistemde bulunan modüller sayesinde buzdolabının içindeki içerik durumu belirlenir ve bir SMS veya e-posta yoluyla bilgiler kullanıcıya iletilir.	Arduino UNO, LCD, Wi-Fi modülü, gaz sensörü, sıcaklık ve nem sensörü, PLX-DAQ
Bayya M. [13]	Mevcut buzdolabına uygulanmak üzere bir algoritma.	Normal bir buzdolabına entegre edilen sensörlerle miktar bilgileri alınır ve mobil uygulama ile kullanıcı kontrol sağlar.	Seviye sensörü, ağırlık sensörü, RFID, Arduino, GSM modülü.
Phuchamniphattanun A. ve Pora W. [14]	Geleneksel bir buzdolabında enerji etkin bir revizyon.	Buzdolabına yerleştirilen sensörler ile bilgiler alınır ve denetleyiciye gönderilir. Kullanıcı sıcaklık tercihi yapabilmektedir.	Sıcaklık sensörü, açık kapı sensörü, enerji ölçüm sensörü, wireless gıda sıcaklığı sensörü, WSN.

Referans	Yapılan çalışma	Genel özellikler	Teknik özellikler
Velasco J. ve ark. [15]	Buzdolabı envanter izleme sistemi.	Buzdolabından sensörler aracılığıyla kablosuz şekilde alınan bilgiler kullanıcı tarafından android uygulama ile takip edilebilmektedir.	Arduino Uno, Arduino Yun, Temboo, Dropbox, mikrodenetleyiciler.
Zhang W. ve ark. [16]	Çoklu kaynaklı veri bileşimi ile sebze meyve tanıma sistemi.	Kamera ile alınan görüntülere ek olarak ağırlık bilgisi de sisteme girilerek makine öğrenmesi artırılmıştır.	Raspberry Pi, TX1
Schuhmacher L. ve ark. [17]	Farklı atmosferik temalarla mutfak ambiyansını değiştirebilen Görsel Atmosfer Uygulaması.	Kullanıcı, ses ve dokunma arayüzleri ile sistemle etkileşim sağlayarak mutfak temasını seçerek ambiyansını değiştirebilmektedir.	Projektör, meSchup, SAR Module
Basharudin N. W. ve ark. [18]	Alzheimer hastaları için ortam ipuçlarını tasarlayan bir mutfak sistemi.	Uyarıcı yanıt uyumluluğu kullanılarak hiyerarşik iş akışı tabanlı bir pişirme sistemi geliştirilmiştir. Hastalar tarifi yaparken adım adım izlenerek yönlendirilmektedir.	SRC, HTA, LED.
Nugroho F. ve Pantjawati A. B. [19]	Mutfak güvenlik sisteminin IoT tabanlı prototipi.	Sensörler ile algılanan olağandışı durumlarda sisteme bilgi gider ve sistem gerekli güvenlik önlemini alarak kullanıcıya bilgi gönderir.	Sıcaklık ve nem sensörü, alev sensörü, gaz kaçağı sensörü, insan aktivitesi tespit sensörü, Arduino IDE, ESP 8266-01, Alarm, Led
Castorani V. ve ark. [20]	Mutfak hava arıtımı için akıllı bir sistem.	Geleneksel aspiratör ile ek aspirasyon sistemi karşılaştırılarak çevresel performans ve sosyal açılarından değerlendirilip kıyaslanmıştır.	Aspiratör, otomatik veya manuel kontrol edilebilen ek aspirasyon sisteminin.

Referans	Yapılan çalışma	Genel özellikler	Teknik özellikler
Hsu W.L. ve ark. [21]	Akıllı mutfak yangın önleme sistemi.	Sistemdeki cihaz ve işlevler vasıtasıyla mutfakta meydana gelen yangın, gaz kaçağı gibi durumlar bildirilir ve önlem alınır.	Alev sensörü, sıcaklık ve gaz kaçağı sensörü, alarm, hat raporlama sistemi, IP kamera, Arduino Uno, Webduino
Ralevski M., ve Stojkoska B. R. [22]	Ev yangını ve gaz kaçağı erken tespiti sistemi.	IoT'den yararlanılarak sıcaklık ve gaz konsantrasyonu ölçülerek, mutfak ortamında ev yangınının artan olasılığı tespit edilerek bir senaryoyu simüle edilir.	Raspberry Pi 1 Model B, MQ5 gaz ölçüm sensörü, basit mantık seviye dönüştürücü, MCP3008.
Minh V.T. ve Khanna R. [23]	Günlük yaşamda kullanılan mutfak aletlerindeki akıllı ev otomasyon sisteminin nasıl tasarlandığı ve kullanıldığı ile ilgili çalışma.	Çeşitli tasarımlarla yeni bir mutfak otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca geliştirilen mobil uygulama ile kullanıcı mutfakta bulunan istediği aleti kontrol edebilmektedir.	MATLAB, Arduino Uno, Raspberry Pi, openHAB, Arduino, zig bee
Kashyap S. ve ark. [24]	Kablosuz mutfak uygulaması.	Endüktif güç kaynakları ile beslenen mutfak cihazlarının yakın alan etkileşimi ile kontrolü sağlanmaktadır.	TCP, PTx, NFC
Swain S. ve Niyogi R. [25]	Mevcut olmayan bir hizmete karşılık gelen, işlevsel olarak eşdeğer bir hizmet sağlayan yöntem (FESC).	Önerilen yöntem SmartChef adı verilen akıllı pişirme sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Yemek tarifinde bulunmayan malzemeye alternatif malzeme öneren bir algoritma geliştirilmiştir.	Meta-akıllı ağaç algoritması.

III. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu makalede, akıllı sistemler çerçevesinde bir mutfağın gereksinimleri göz önüne alınarak yapılmış veya önerilmiş akıllı mutfak sistemleri incelenmiştir. Son yıllarda yapılan bu güncel çalışmalar, tasarlanış amacına göre bazı alt başlıklar altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar: mutfaktaki malzemelerin yönetilebildiği envanter sistemi öneren çalışmalar; yemek pişirme önerisi, planı veya direktifi verebilen sistemler; sadece buzdolabına entegre edilen, gıda maddelerinin

tür ve miktar bilgisinin alındığı, sıcaklık ayarının yapılabilirdiği akıllı sistemler; kullanıcıyla direk duyuşal etkileşim kurarak kontrol sağlayan sistemler; mutfaktaki hava ortamını kontrol ederek yangın ve gaz kaçağı tespiti yapan veya optimum hava ortamını sağlayan sistemler; mutfaktaki akıllı sistemleri yönetmek için çeşitli haberleşme, öğrenme ve kontrol algoritmaları öneren çalışmalar şeklinde sıralanabilir. İncelenen çalışmaların benzeri birçok çalışma literatürde mevcuttur. Ayrıca çeşitli firmaların ticari olarak sunduğu akıllı mutfak veya buzdolabı sistemleri de mevcuttur.

Yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi akıllı bir sistemin temelinde insan konforu yatmaktadır. İnsan konforunun, zamanın hızla aktığı ve kadın erkek tüm bireylerin iş hayatında yer aldığı günümüzde zamandan tasarruf ve hayatı kolaylaştıracak çözümler getirmesi beklenmektedir. Güncel çalışmalar bu beklentileri karşılamaya yönelik uygulanabilir birçok yenilik sunmaktadır. Akıllı mutfak sistemleri, evin ve hayatımızın en önemli mekanlarından biri olan mutfaktaki işleri kolaylaştırmada, zamandan tasarruf sağlamada, israfın önüne geçmede, güvenlik gerektiren durumlar için tedbir almada ve hatta sağlık problemleri sebebiyle yardıma ihtiyaç duyan bireylere yardımcı olmada oldukça önemli ve gerekli sistemlerdir. Bu sistemler sayesinde enerjiden tasarruf sağlanabilmekte aynı zamanda günlük hayat daha da kolaylaşıp konfor sağlanabilmektedir. Enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olduğu günümüz dünyasında enerjiyi etkin kullanmak oldukça önemli olup, her alanda dikkat edilmesi gereken bir husus olmuştur. Enerjiden tasarruf sağlamak kullanıcı konforunu yok saymak anlamına gelmemektedir. İyi bir tasarımla her açıdan uygun ve avantajlı bir sistem oluşturmak mümkündür. Daha birçok yeni senaryo geliştirilerek bu makalede incelenen çalışmaları ileri taşıyacak yeni sistemler tasarlanabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Rezwan S., Ahmed W., Alam Mahia M. ve Rezaul Islam M. (2018), IoT Based Smart Inventory Management System for Kitchen Using Weight Sensors, LDR, LED, Arduino Mega and NodeMCU (ESP8266) Wi-Fi Module with Website and App, 4th International Conference on Advances in Computing, Communication and Automation, ICACCA, Doi: 10.1109/ICACCAF.2018.877.6761.
- [2] Buzzelli M., Belotti F. ve Schettini R. (2018), Recognition of Edible Vegetables and Fruits for Smart Home Appliances, IEEE 8th International Conference on Consumer Electronics, Doi:10.1109/ICCE-Berlin.2018.857.6236
- [3] Jian-Mei, S., Li-Juan W., Xi Y. ve Jun-Shan Y. (2018), Design and Implementation of Intelligent Kitchen System Based on Internet of Things. 2018 International Conference on Smart

- Grid and Electrical Automation (ICSGEA). doi:10.1109/icsgea.2018.00070
- [4] Jarupunphol P., Buathong W., Chansaeng T., ve Laosen N. (2018). A descriptive design for a smart kitchen management application (SKM). 2018 International Conference on Information and Computer Technologies (ICICT). doi:10.1109/infect.2018.835.6841
- [5] Arya A., Taliyan A., Chauhan P., ve Gautam A. (2019). Smart Kitchen with New Measurement, Web and Application Based with Affordable Design. 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU). doi:10.1109/iot-siu.2019.877.7488
- [6] Sasirekha S., Louis Paul I.J. ve Swamynathan S. (2018), An API Centric Smart Kitchen Application, 2nd International Conference on Computer, Communication, and Signal Processing (ICCCSP 2018), Doi:10.1109/ICCCSP.2018.845.2850
- [7] Celik T., Gardine R., Lukács-Kisbandi O., Parker G., Partridge S. ve Bennett P. (2018), Choptop: An Interactive Chopping Board, Human Factors in Computing Systems. :1-6, Doi: 10.1145/3170.427.3188486
- [8] Sharath B.S., Srisha R., Shashidhar K.V., ve Bharadwaj S.S. (2018). Intelligent and Smart Cloud Based Autonomous Robotic Kitchen System. 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS). doi:10.1109/iccons.2018.866.3208.
- [9] Dziurzanski P., Zhao S. ve Indrusiak L.S. (2019). Integrated Process Planning and Scheduling in Commercial Smart Kitchens. Computer Science.
- [10] Ferrero R., Vakili M. G., Giusto E., Guerrera M., ve Randazzo V. (2019). Ubiquitous Fridge With Natural Language Interaction. 2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA). doi:10.1109/rfid-ta.2019.889.2025
- [11] Gao X., Ding X., Hou R. ve Tao Y. (2019), Research on Food Recognition of Smart Refrigerator Based on SSD Target Detection Algorithm. Association for Computing Machinery (ACM), ISBN 978-1-4503-7150-6/19/07.
- [12] Nasir H., Wan Aziz W.B., Kadir K. ve Khan S. (2018), The Implementation of IoT based Smart Refrigerator System. 2nd International Conference on Smart Sensors and Application (ICSSA), Doi: 10.1109/ICSSA.2018.853.5867.
- [13] Bayya M. (2019), Low cost Smart Refrigerator. 2019 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2019), doi:10.1109/TENCON.2019.892.9291.
- [14] Phuchamniphathananun A. ve Pora W. (2019), A Smart Domestic Refrigerator with Energy Efficiency Improvement. 2019 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS), doi: 10.1109/APCCAS47518.2019.895.3072.
- [15] Velasco J., Alberto L., Ambatali H.D., Canilang M, Daria V., Liwanag J.B., Madrigal G.A (2020), Internet of Things-Based (Iot) Inventory Monitoring Refrigerator Using Arduino Sensor Network. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, Vol. 18, No. 1, April 2020, pp. 508-515.
- [16] Zhang W., Zhang Y., Zhai J, Zhao D., Xu L., Zhou J., Li Z., Yang S. (2018), Multi-Source Data Fusion Using Deep Learning for Smart Refrigerators. Computers in Industry, 95, 15-21.
- [17] Schuhmacher L., Pagenkopf A., Lingamaneni R. ve Scheible J. (2018), Emotion Enhancement through Ubiquitous Media Technology in a Smart Kitchen Environment, Mobile and Ubiquitous Multimedia, 317-325 Doi:10.1145/3282.894.3282904.
- [18] Basharudin N. W., Ku Azir K. N. F., Khairuddin A. M., ve Ehsan P. (2019). Ambient Cues of Kitchen Counter in Guiding Cooking Activities for Alzheimer's Patient. 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops). doi:10.1109/percomw.2019.873.0829
- [19] Nugroho F. ve Pantjawati A. B. (2018), Automation and Monitoring Smart Kitchen Based on Internet of Things (IoT), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Doi: 10.1088/1757-899X/384/1/012007.
- [20] Castorani V., Rossi M., Germani M., Mandolini M ve Vita A. (2018), Life Cycle Assessment of Home Smart Objects: Kitchen Hood Cases, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 69:499-504, Doi: 10.1016/j.procir.2017.11.113
- [21] Hsu W.-L., Jhuang J.-Y., Huang C.-S., Liang C.-K., ve Shiau Y.-C. (2019). Application of Internet of Things in a Kitchen Fire Prevention System. Applied Sciences, 9(17), 3520. doi:10.3390/app9173520
- [22] Ralevski M., ve Stojkoska B. R. (2019). IoT based system for detection of gas leakage and house fire in smart kitchen environments. 2019 27th Telecommunications Forum (TELFOR). doi:10.1109/telfor48224.2019.897.1021
- [23] Minh V.T. ve Khanna R. (2018), Application of Artificial Intelligence in Smart Kitchen, International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences. Vol 1, Iss 1, Pp 1-8. Doi:https://doi.org/10.1515/IJITIS.2018.1.1.1-8.
- [24] Kashyap S., Rao V.S., Prasad V. ve Staring T. (2018), Cook over IP: Adapting TCP for Cordless Kitchen Appliances, IEEE/ACM Third International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation, Doi: 10.1109/IoT-DI.2018.00011
- [25] Swain, S. ve Niyogi, R. (2020), FESC: Functionally Equivalent Service Composition. Internet of Things, 100151. doi:10.1016/j.iot.2019.100151.

Elektrikli Otomobiller için Çekiş Motor Tip Seçimi

Traction Motor Type Selection for Electric Car

Murat Fatih DEMİR¹ , Habib KAYMAZ² 

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²Mercedes Benz Türk AŞ, Otobüs Geliştirme, Esenyurt, Türkiye

Öz

19. yüzyılın başında içten yanmalı motorların seri üretimiyle baş edemeyen elektrikli otomobiller, enerji krizleri, araç karbon salınımı ve sera etkisinin artmasıyla tekrar günlük hayatımıza girmeye başlamıştır. Fosil yakıtlı araçları bazı ülkelerde trafikten men etmesine yol açan bu durum, oto üreticilerini alternatif enerji kaynaklarıyla çalışan ve/veya alternatif sürüş sistemine sahip araçlar üretmeye zorlamıştır. Günümüzde ise birçok otomobil markası elektrikli araçlar üretmekte, bunu için yaygın bir tedarik zinciri ve servis ağı oluşturmaktadır. Bu çalışmada elektrikli otomobillerde sık kullanılan çekiş motor tipleri hakkında bilgi verilmesinin yanı sıra karar vericilerin elektrik motor tip seçimi yaparken göz önünde bulundurmaları gereken parametreler verilmiştir. Son olarak, sık kullanılan beş motor tipi karşılaştırılarak göreceli üstünlük ve zafiyetleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hibrit araç (HEV), Elektrikli araç (EV), Elektrik motoru (DCM, ACIM, BLDC, PMSM, SRM)

Abstract

Electric cars, which could not cope with the mass production of internal combustion engines at the beginning of the 19th century, has started to enter our daily lives again with the energy crises, increases of carbon emission of the car and the greenhouse effect. This situation, which led some countries to ban fossil fuel vehicles from traffic, forced automakers to produce vehicles that operate with alternative energy sources and / or have alternative driving systems.

Today, many car firms produce electric vehicles and create a widespread supply chain and service network. In this study, besides giving information about the types of traction motors commonly used in electric cars, the parameters that the decision makers should consider when choosing the electric motor type are given. Finally, the relative advantages and disadvantages of five commonly used engine types were shown.

Keywords: Hybrid Vehicle (HEV), Electric Vehicle (EV), Electric Motor (DCM, ACIM, BLDC, PMSM, SRM)

1. Giriş

Günümüzün en yoğun teknolojik konularından biri olan elektrikli araçlar ve bu araçlarda kullanılan motorlar birçok akademik çalışmaya da konu olmaktadır. Zeina ve arkadaşları DC motorlu elektrikli aracın eğim ve farklı yüklerde durum performansını gösterir bir çalışma yapmıştır [1]. Tingting ve arkadaşları, kalıcı mıknatıslı senkron motor (PMSM) kullanan araç motorunun matematiksel modellemesi ile hız ve akım benzetim sonuçlarının değerlendirildiği bir çalışma yapmıştır [2]. Sezen ve arkadaşları hibrit araçlarda anahtarlamalı relüktans motor (SRM) kontrolü için (belirli referans girdilere bağlı olarak) kararlı hal, tork dengesizlikleri ve aşırı yüklenme değerlerinin gösterildiği bir modelleme çalışma yapmıştır [3]. Aktaş ve arkadaşları, asenkron motorların kontrolü ile ilgili dolaylı alan orantılı kontrol metodu (IFOC) ve direk tork kontrol metodunun (DTC) karşılaştırıldığı bir çalışma yapmıştır [4]. Werachet ve arkadaşları fırçasız doğru akım motoru (BLDC) kullanan araçlarda elektronik diferansiyel sisteme yönelik bir çalışma yapmıştır [5].

Elektrikli araçların sürüş sistemi tasarımında en önemli tercih çekiş motoru ve sürücü seçimidir. Motor tipi seçiminde, çekiş sisteminden beklenen performansı ile maliyet arasındaki denge önemlidir. Bunun için güç yoğunluğu, güvenilirlik, verim

ve maliyet gibi dört temel parametrenin yanında hata toleransı, termal limit, tork dengesizlikleri gibi birçok ikincil parametre üzerinden seçim yapılır. Elektrikli çekiş motoru olarak asenkron motor, DC Motor, PMSM, BLDC ve SRM gibi çeşitli motor tipleri kullanılmaktadır. Bu motorların kullanıldığı hibrit/elektrikli otomobiller aşağıdaki sürüş teknolojilerinden birine sahiptir:

- Hibrit Sistem
- Şarj Edilebilir Hibrit Sistem (Plug-in Hibrit)
- Menzil Arttırıcı Sistem
- Tam Elektrikli Sistem

Hibrit araçlar, içten yanmalı ve elektrikli olmak üzere iki çeşit motor kullanılan araçlardır. Elektrikli motorların görevi, içten yanmalı olarak çalışan motorlara destek olmaktır. Ayrıca, fren yapıldığında elektrikli motor jeneratör gibi çalışır. Stator hızı, rotor hızından fazla olduğunda açığa çıkan enerji bataryayı şarj eder. Elektrikli ve içten yanmalı motorların ikisi de aracın çekişine katkıda bulunur. Farklı modellerde belirli hızlara kadar elektrikli motor çekiş görevini yerine getirir. Belirli hızın aşılmasıyla, içten yanmalı olarak çalışan motorlar devreye girer. Bu araçlar yoğun trafikte ekstra kazanç sağlamaktadır. Dur kalk esnasında elektrik motoru etkin olduğundan yakıt sarfiyatının düşmesine katkı yapar.

Şarj Edilebilir Hibrit Sistem (Plug-in Hybrid) araçların temel çalışma prensipleri Hibrit araç sistemlerine yakındır [6]. Ancak bu tip otomobillerde yüksek kapasiteli batarya grupları bulunmaktadır. Şartlar müsait olduğunda bu bataryalar şebekeye bağlanarak şarj edilebilir. Bu sayede elektrikli motorların enerjisi şebeke, içten yanmalı olarak çalışan motor veya fren enerjisinin de geri kazanılmasıyla temin edilebilmektedir.

Menzil Arttırıcı Sistem (Range Extender) araçların temel çalışma prensipleri hibrit araç sistemlerine yakındır. Şarj edilebilir özellikli hibrit sisteminde ki gibi araçlarda hem içten yanmalı hem de elektrikle çalışan motorlar bulunmaktadır ancak bu sistemdeki içten yanmalı motor, aracın çekişine katkıda bulunmaz. Elektrik motoru çekişi tamamen üstlenir. İçten yanmalı motor yalnızca bataryayı şarj etmektedir. Bu sistemde şebekeye bağlantı ve/veya fren enerjisinin geri kazanımıyla bataryayı şarj etmek mümkündür.

Tam Elektrikli araçlarda içten yanmalı motor bulunmaz ve araç sadece elektrikli motor ile hareket eder. Bundan dolayı bu araçlar Zero Emission Vehicle (ZEV) olarak da adlandırılır. Bu sistemde de şebekeye bağlantı ve/veya fren enerjisinin geri kazanımıyla bataryayı şarj etmek

mümkündür. Hibrit/elektrikli sürüş sistemine sahip araç tipleri Şekil 1 de gösterilmiştir [7].



Şekil 1. Elektrikli Sürüş Sistemine Sahip Araç Tipleri

2. Elektrikli Otomobillerde Kullanılan Çekiş Motorları

Elektrikli otomobillerde ağırlıklı beş temel tip elektrik çekiş motoru kullanılmıştır. Bunlar, içyapıları Şekil 2'de gösterilen Fırçalı DC motorlar (DCM), Asenkron Motorlar (ACIM), Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar (PMSM), Fırçasız DC Motorlar (BLDC) ve Anahtarlamalı Relüktans Motorlar (SRM) dir [8].



Şekil 2. Elektrikli otomobillerde kullanılan motorların içyapıları

2.1. Fırçalı DC motorlar (DCM)

DC Serisi motorun yüksek başlangıç tork kapasitesi, onu çekiş uygulaması için uygun bir seçenek haline getirir. Bu motorun avantajları hız kontrolünün kolay olması ve ani yük değişimlerine dayanmasıdır. Üretilen tork, akımın karesiyle doğru orantılıdır. Tüm bu özellikler onu ideal bir çekiş motoru yapar. Bu motorlar yüksek güçlü olarak demiryollarında

sıkça kullanılmaktadır [9]. DC motorun elektrikli araç uygulamalarında kullanımını sınırlayan dezavantajı ise mekanik fırçaların aşınmaya ve yıpranmaya elverişli olmaları ve arıza oranlarının yüksek oluşudur.

Fırçalı DC Motor Sürücüsü: Motor hızı değişen voltaj ile ayarlanır. Fırçalı DC motorlar, voltajına ve güç çıkışına bağlı olarak iki, dört veya altı kutba sahip olabilir. Şönt veya seri alan sargılarına sahip olabilir. Seri motorlar şönt motorlardan daha iyi kontrol edilebilir. Harici olarak uyarılan DC motorlar, ayrıştırılmış akı ve tork kontrol özellikleri nedeniyle alan zayıflaması için doğal olarak uygundur. Ancak, komütatör ve fırçalar arasındaki sürtünme, maksimum motor hızını kısıtlamaktadır.

2.2. Asenkron Motorlar (ACIM)

Asenkron endüksiyon motoru, değişen manyetik alanındaki iletkenlerin iletken boyunca bir EMF indüklediği elektromanyetik endüksiyon prensibine dayanmaktadır. Rotor ve stator akısının etkileşimiyle motor döner. Yaygın olarak sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır. Asenkron motorun avantajları yapısal basitlik, düşük maliyet ve düşük bakım ihtiyacıdır. Kıvılcım çıkaran fırçalar yoktur. Bu nedenle patlayıcı alanlar, su ve tozlu kirli ortamlarda çalıştırılabilirler. Dezavantajı ise hız kontrolünün zor olmasıdır. Motor düşük güç faktöründe çalışır. Bu nedenle bazı güç faktörü düzeltme cihazları gereklidir. Yüksek bakır kayıpları verimin düşmesine yol açar. Hava aralığının fazla olması verim düşmesine, bazen de mekanik sürtünmeye yol açabilir.

Asenkron Motor Sürücüleri: Asenkron endüksiyon motorunun hız kontrolü voltaj frekansının değiştirilmesiyle elde edilir. Vektör kontrollü AC motor sürücülerinde her bir motor akımı, sürücü içerisindeki akım kontrolörü tarafından kontrol edilir. Ani moment artışları bu kontrol ünitesi tarafından algılanır. Motorun yeni momenti karşılama için ilgili faz sargılarına anlık olarak darbe gerilimleri uygulanarak motor akımına ani darbe artışları verilir ve motorun yeni moment değerine sıçraması sağlanır. Motor yeni moment değerinde kararlı çalışmaya başladıktan sonra vektör kontrol işlevini yapmıştır ve sürücü normal olan özellikleri ile çalışmasını sürdürür. Bu zor kontrol yapısı, asenkron motorların kontrol sürücülerini DC motorlardan daha karmaşık ve maliyetli yapmaktadır.

2.3 Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorlar (PMSM)

Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motorların alan uyarımı, sabit mıknatıslar tarafından sağlanır. Bu motorlar temelde sinüzoidal zıt EMK dalga formuna sahip bir AC senkron

motordur. PMSM, yapısal olarak fırçasız DC motor ile endüksiyon motorun birleşimidir. Fırçasız bir DC motor gibi, statorda sargıları ve kalıcı bir mıknatıs rotoru vardır. Aynı zamanda, makinenin hava boşluğunda sinüzoidal bir akı yoğunluğu üretmek için yapılmış sargılı stator yapısı vardır, bu yapı endüksiyon motorlara benzer [10]. Rotor bakır kayıplarının olmaması soğutma açısından PM motorlara avantaj sağlamaktadır. Dezavantaj olarak yüksek ısı ve yük koşulları mıknatıslanma özelliklerinin kayıp olmasına neden olur.

PMSM Sürücüleri: Kalıcı mıknatıslarla PMSM sıfır hızda tork üretebilir ancak bu tip operasyonlar için dijital kontrollü invertör gerekir. PMSM sürücüleri yüksek verimli ve yüksek performanslı motor sürücülerdir ve motorun tüm hız aralığında, düzgün dönüş, yüksek performanslı motor kontrolü, sıfır hızda tam tork kontrolü, hızlanma ve yavaşlama gibi tüm fonksiyonlarda etkindir. Bu kontrolü elde etmek amacıyla, PMSM için vektör kontrol teknikleri kullanılır. Vektör kontrol yöntemleri, alan yönlendirmeli kontrol yöntemi, akı zayıflatma yöntemi ve doğrudan moment kontrol yöntemi olarak sıralanabilir. Alan yönlendirmeli kontrol yöntemi (field oriented control, FOC) stator akımlarının dönen eksen takımlarına dönüştürmesiyle yapılır.

2.4. Fırçasız DC Motorlar (BLDC)

Kalıcı mıknatıslı DC motor, rotorun stator ile aynı hızda döndüğü senkron bir motordur. Rotorun alan sargısının yerini sabit mıknatısla değiştirmesiyle geleneksel DC motordan farklılaşır. Kalıcı mıknatıslı senkron motor BLDC olarak da adlandırılır.

Fırçasız DC motor veya Kalıcı mıknatıslı Fırçasız DC motor, DC beslemeyle çalışır ve mekanik (komütatör-fırça) değişim yerine elektronik olarak sürülür. Küçük boyutları sayesinde güç yoğunluğu yüksektir. Alan sargıları olmadığından (bakır, ısı vb) kayıpları daha azdır. Verimleri yüksektir. Kalıcı mıknatıs kullanarak, motorlar manyetik kutuplar üretmek için enerji ihtiyacını ortadan kaldırır. Böylece DC motorlardan, endüksiyon motorlarından ve SRM'ler den daha yüksek verim elde edebilirler. Dezavantajı motorun DC serisi ve AC endüksiyon motorlarından daha maliyetli olmasıdır. Mıknatısın pahalı olması ve mıknatısın mekanik gücünün motorda büyük bir tork oluşmasını zorlaştırır. PM BLDC motorlarında hızı sınırlamak için fırça yoktur ancak iç rotor tipli motorlarda maksimum hızı kısıtladığı için mıknatısın sabitleme yoğunluğu konusundaki sorunlar devam etmektedir [11].

Kalıcı Mıknatıslı Fırçasız DC Motor Sürücüleri: Fırçasız DC motorların çalıştırılması ve kontrolü oldukça

zordur. Bu motorlar, yapıları gereği elektronik olarak kontrol edilir ve doğru akım komütasyonu için kontrol işleminde rotor pozisyon bilgisi gerektirirler. Fırçasız DC motorların kontrolünde, iki ayrı kapalı çevrim kullanılır. Birincisi, iç kontrol çevrimidir ve burada motor akımı veya momenti kontrol edilir. Bu amaçla, motor faz sargılarının akımları sürekli takip edilerek, referans akımı izlemesi sağlanır. İkincisi ise, dış kontrol çevrimidir. Bu çevrimde, motor hızı kontrol edilir. Geri besleme olarak, pozisyon sensörlerinden alınan gerçek motor hız ve konum bilgisi hız denetleyicisinde işlenmektedir..

2.5. Anahtarlamalı Relüktans Motorlar (SRM)

Anahtarlamalı relüktans motorları, basit bir yapıya sahiptir. Hem statoru hem de rotoru çıkık kutuplu yapıdadır. Bundan dolayı motorlar çift çıkık relüktans motorlar olarak da adlandırılır.

Anahtarlamalı relüktans motorları, 1838 de bir lokomotif hareket ettirmek amacıyla İskoçya’da, Davidson tarafından kullanılmıştır. O zamanlar bu motorun kontrolü zor olmasından dolayı kullanımı azdı. Günümüzde ise motor ve sürücü tekniğinin gelişimi SRM’lere ilgiyi artırmıştır. Anahtarlamalı relüktans motorları, statorunda sargı bulundurmazlar. Bu yüzden oldukça yüksek hızlara ulaşırlar.

Anahtarlı relüktans motorun düzgün bir şekilde çalışabilmesi için sürekli bir moment üretilmesi gerekir. Sürekli moment üretilmesi rotor ve stator kutbunun konum algılayıcılar ile izlenip uygun faz sırasıyla beslenmesine bağlıdır. Bu nedenle de güç elektroniği devre elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. AC, stator sargılarına uygulandığında stator bobinlerinden sinüzoidal bir akım akar ve değişen bir manyetik akı meydana gelir. Rotor bu manyetik akının kutup yüzeyindeki hareketinin sağladığı etki ile döner. Anahtarlamalı relüktans motorun, rotorunun konumu farklı durumlar bulunur. Bunlardan bir tanesi yüz yüze durumudur. Rotor kutbu ile statorun bir kutbunun tamamen karşı karşıya gelmesi durumudur. Stator ve rotor yüz yüze konumundayken statorundan akım akıtıldığında moment üretilmez. Rotor bu konumdayken hava aralığı minimum, manyetik geçirgenlik maksimum olur. Bu durumda relüktans değeri minimum olur. Son olarak endüktans değerinin

maksimum olduğu görülür. SR motorun avantajları şunlardır:

Rotorunda sargı veya kalıcı mıknatıs yoktur. Bu sebeple üretimi oldukça basittir.

- Rotoru fırçasızdır. Bu sayede yüksek hızda çalışabilir.
- Yüksek güç ve moment elde edilebilir.
- Sadece statorunda sargı olduğu için soğutması kolaydır.
- Fazlar birbirinden bağımsızdır, bir faz arıza yapsa bile motor çalışmaya devam eder.
- Verimi oldukça yüksektir.

SR motorun dezavantajları şunlardır:

- Stator endüktansı büyüktür.
- Anahtarlama anında sargı endüktansının uçlarında yüksek gerilim oluşur.
- Faz uyarımı sırasının belirlenmesi için motor miline sensör yerleştirilmelidir.
- Bir fazdan diğerine geçerken gecikme olduğu zaman moment azalır. Bu yüzden yüksek gürültü çıkarır [12].

Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüler: SRM diskleri elektrikli araç uygulamaları için bir potansiyele sahiptir. Bu motor sürücülerini sağlam ve basit yapı, hataya dayanıklı çalışma, kolay kontrol ve olağanüstü tork-hız özellikleri gibi belirli avantajlara sahiptir. SRM sürücülerinin tork-hız karakteristikleri elektrikli araç yük karakteristikleriyle iyi bir şekilde eşleşir. SRM sürücü, geniş sabit bir güç bölgesiyle yüksek hızda çalışma kapasitesine sahiptir. Motor, yüksek başlangıç torkuna ve yüksek tork-atalet oranına sahiptir. Basit yapısı ve düşük rotor ataleti nedeniyle SRM çok hızlı bir hızlanmaya ve son derece yüksek hızda çalışmaya sahiptir. Geniş hız aralığı çalışması nedeniyle SRM özellikle EV tahrikinde dişli olmadan çalışma için uygundur. Ayrıca rotorda manyetik kaynakların (yani sargılar veya sabit mıknatıslar) olmaması SRM’yi soğutmaya nispeten kolaylaştırır ve yüksek sıcaklıklara duyarlılaştırır. SRM sürücülerinin dezavantajları, tork dalgalanması ve akustik gürültüden muzdarip olmalarıdır [13].

Bahsi geçen bu beş motor tipinin kullanıldığı örnek araç modelleri Tablo.1 de verilmiştir.

Tablo 1. Araç Modelleri ve Kullandığı Motorlar

ARAÇ MODEL	MODEL	MOTOR TİPİ	GÜÇ KW/HP	TORK Nm	REF.
NISSAN LEAF	2020	PMSM	110/147	320	[14]
JAGUAR I-PACE	2020	PMSM	298/400	696	[15]
TESLA MODEL S Performance SR	2020	ACIM	568/762	980	[16,17,18]
TESLA MODEL X Performance SR	2020	ACIM	568/762	990	[16-19]
TESLA MODEL 3 RWD	2018	ACIM	204/274	350	[16-20]
PORSCHE Mission E (TAYCAN) 4S	2020	ACIM	320/429	600	[21-22]
CHEVROLET BOLT EV	2020	BLDC	150/201	360	[23-24]
BMW i8	2018	PMSM	170/228	320	[25-26]
BMW i3	2019	PMSM	125/167	250	[25]
TOYOTA PRİUS	2020	PMSM	53/71	163	[27]
HYUNDAI KONA ELECTRIC	2019	PMSM	150/201	395	[28-29]
MERCEDES-BENZ GENERATION EQ	2019	ACIM	300/402	760	[30]
AUDI E-TRON 55 QUATRO	2019	ACIM	265/356	561	[31-32]
VOLVO XC40 RECHARGE P8	2021	PMSM	300/402	660	[33-34]
HOLDEN ECOMMODORE	2007	SRM	55/73.7	-	[35]
LUCAS CHLORIDE	-	SRM	-	-	[36]
MAZDA BONGO	-	SHUNT DC	-	-	[37]
FIAT PANDA ELETTRA	-	SERİ DC	-	-	[37]

3. Elektrik Motorlarının Seçim Kriterleri ve Mukayesesi

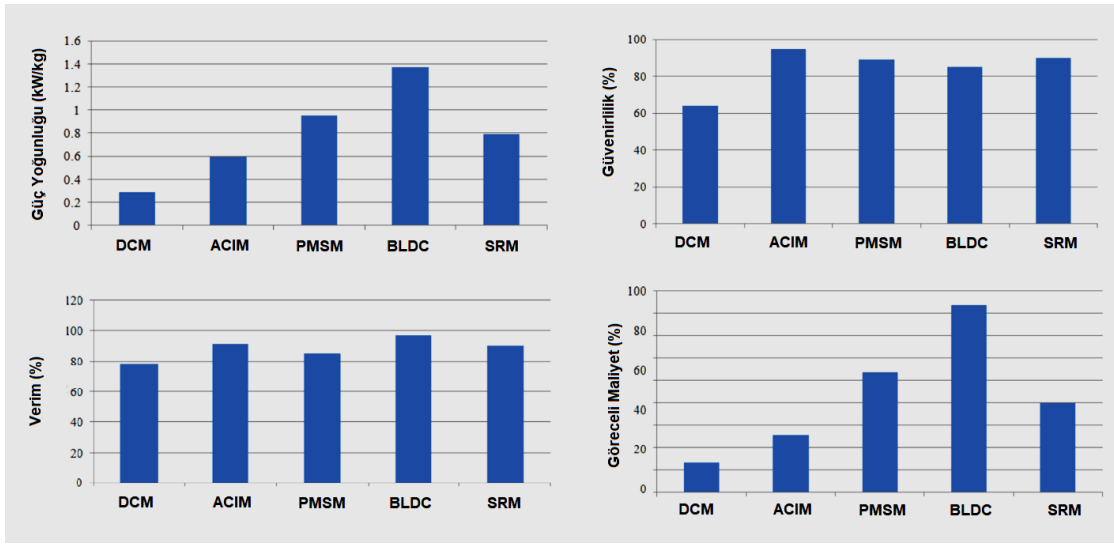
Araçlarda hangi tip elektrik motorunun kullanılacağı kararı için tasarımcıların/karar vericilerin Maliyet, Tork/güç yoğunluğu, Verim, Yapısal Basitlik, Kontrol kolaylığı, Güvenilirlik, Fiziksel Boyut, Aşırı yüklenme kapasitesi, Sağlamlık, Alan gücü, Hata toleransı, Termal limit, Düşük tork salınımı (düşük gürültü ve titreşim), Ömür, Potansiyel gibi kriterleri göz önünde bulundurmaları, kararlarının saha ve

müşteri beklentilerini en iyi şekilde karşılayan çözüme göre vermeleri gerekmektedir. Tablo 2 de yukarıda anlatılan beş farklı elektrik motor tipinin bu kriterlere göre mukayesesi verilmektedir [38-39]. (Tabloda kullanılan “0” değerlendirme ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre ortalamayı, “-” ve “—” değerlendirmesi ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre dezavantajlı durumu, “+” ve “++” değerlendirmesi ise ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre avantajlı durumu temsil etmektedir.)

Tablo 2. Elektrik Motorlarının Seçim Kriterleri ve Değerlendirme Sonuçları

KRİTER	DCM	ACIM	PMSM	BLDC	SRM
Maliyet	0	++	-	-	+
Tork/Güç Yoğunluğu	-	0	++	++	0
Verim	-	+	++	++	+
Basitlik	++	++	0	+	++
Kontrol Kolaylığı	++	++	0	+	++
Güvenilirlik	-	++	+	+	++
Boyut	-	+	++	++	+
Aşırı Yüklenme Kapasitesi	-	+	+	+	++
Sağlamlık	0	++	+	+	++
Alan Gücü	++	++	+	-	++
Hata Toleransı	+	++	-	-	++
Termal Limit	0	+	-	-	++
Tork Ripple	-	++	++	—	-
Ömür	-	++	+	+	++
Vade	++	++	+	+	+
Potansiyel	-	++	++	0	++

Elektrikli araçlarda sık kullanılan beş motor tipi için dört temel parametre (güç yoğunluğu, güvenilirlik, verim ve maliyet) üzerinden yapılan değerlendirme Şekil 3’ de verilmiştir [40].



Şekil 3. Sık kullanılan beş motor tipi için temel karşılaştırma

4. Sonuç

Bu çalışmada elektrikli otomobillerde sık kullanılan elektrik motor tipleri hakkında bilgi verilmesinin yanı sıra tasarımcıların/karar vericilerin elektrik motor tip seçimi yaparken göz önünde bulundurmaları gereken parametreler verilmiştir. Son olarak ta, sık kullanılan beş motor tipi bu kriterlere göre karşılaştırılarak birbirlerine olan üstünlük ve zafiyetleri gösterilmiştir. Birbirlerine göre çeşitli parametrelerde üstünlük sağlayan bu motor tipleri içinde gerek maliyet ve gerekse uzun dönemli sorunsuz çalışma (güvenirlilik) üstünlüğünden dolayı alternatif akım indüksiyon motorları (ACIM) bir adım öne çıkmaktadır. Vektör kontrollü sürücülerin gelişmesiyle zaten sağlam, basit yapı, düşük maliyet, uzun ömür ve hata toleranslarının yüksek oluşu gibi özellikler bu motorları elektrikli otomobiller için avantajlı duruma getirmiştir. Mevcut üretilen araçlarda kullanımı fazladır.

Basit ve ucuz güç elektroniği sayesinde düşük güç uygulamaları için ideal bir seçenek olan DC motorların en büyük zafiyeti komütatör ve fırçalar arasındaki sürtünmenin arızalara yol açması ve hata toleranslarının düşük oluşudur. İlk dönemler sınırlı birkaç modelde kullanılmasına karşın mevcut üretilen araçlarda kullanımı bulunmamaktadır.

Güç yoğunluğu, yüksek verimlilik avantajlarıyla indüksiyon motorlara göre daha verimli [41] olan BLDC ve PMSM motorlar, yapılarındaki kalıcı mıknatıslar için nadir yer elementlerine ihtiyaç duymalarına sebebiyle maliyetleri yüksektir ve güçlü otomobiller için uygun değildir [42].

BLDC ve PMSM motorlara göre motor ve kontrolör maliyeti çok daha az olan SRM'ler, güvenilirlik, iyi verimlilik ile olağanüstü bir seçenek sunar. Ancak yüksek tork

salınımına bağlı yüksek gürültü ve titreşim en büyük dezavantajdır.

Endüstriyel çalışmalar için tasarlanan bu motor tipleri artık otomotiv dünyasının en önemli malzemelerinden biri olmaya namzettir ve gerek endüstriyel ve gerekse akademik çalışmaların gittikçe daha artan konusu olmaya başlamıştır. Artan motivasyon, teknolojiye paralel olarak motor tip ve özelliklerinin gelişmesine yol açacaktır.

Kaynaklar

- [1] Zeina Bitara, Samih Al Jabia, Imad Khamisb. Modeling and Simulation of Series DC Motors in Electric Car. Proceedings of the ScienceDirect, 2015, Volume 50, Pages 460-470, doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.056>
- [2] Tingting Liu, Guojin Chen, Shigang Li. Application Of Vector Control Technology For Pmsm Used in Electrical Vehicles. The open Automation and Control Systems Journal 2014, 6, 1334-1341
- [3] Serkan Sezen, Ercument Karakas, Kadir Yilmaz, Murat Ayaz. Finite element modeling and control of a high-power SRM for Hibrit electric vehicle. Proceedings of the ScienceDirect, 2016, Volume 62, Pages 49-67, doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.01.06>
- [4] Mustafa Aktas, Khaled Awaili, Mehrdad Ehsani, Aydemir Arisoy. Direct torque control versus indirect field-oriented control of induction motors for electric vehicle applications. Proceedings of the ScienceDirect, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.04.002>
- [5] Werachet Khan-Ngern, Wiwat Keyoonwong. High Performance BLDC Motor Control for Electric Vehicle.

- Proceedings of the IEEE, 2018, inspec accession number: 18026803
- [6] V.Sreedhar, Plug-In Hybrid Electric Vehicles With Full Performance. Proceedings of IEEE, 2006, inspec accession number: 9529651
- [7] Url, <https://docplayer.biz.tr/50157533-Hibrid-ve-elektrikli-araclar.html>, 04.04.2020
- [8] Freescale, newest digital controller for energy conversion and motor control. Url, <https://www.yumpu.com/en/document/read/21059104/digital-control/5>
- [9] BySri Hari Karthik. Url, <https://circuitdigest.com/article/different-types-of-motors-used-in-electric-vehicles-ev>, 2019
- [10] T. Porselvi, Srihariharan, M. K. Ashok, J. Ajith Kumar, S. Selection of Power Rating of an Electric Motor for Electric Vehicles. Proceedings of the IJESC, 2017, Volume 7 Issue No.4
- [11] Url, <https://tr.farnell.com/motor-control-permanent-magnet-sync-motor-pmsm-technology>, 04.04.2020.
- [12] Samet Özgül. Url, <https://www.elektrikport.com/makale-detay/anahtarlamali-manyetik-reluktans-motor/18630#ad-image-0>. 2016
- [13] X. D. Xue, K. W. E. Cheng, and N. C. Cheung. Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles. Proceedings of the ResearchGate, 2009, Url, https://www.researchgate.net/publication/224400819_selection_of_electric_motor_drives_for_electric_vehicles
- [14] Nissan Leaf 2.0 (PMSM). Url, <https://www.nissanusa.com/vehicles/electric-cars/leaf/build-price.html#configure/A/version>, 06.04.2020
- [15] Jaguar I-Pace (PMSM). Url, <https://www.jaguar-turkiye.com/jaguar-range-i-pace>, 2020
- [16] Tesla Model S-X-3 (Asenkron). Url, <https://cleantechnica.com/2018/03/11/tesla-model-3-motor-in-depth/>, 06.04.2020
- [17] Tesla Model S Performance Sr. Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/7700e2>, 06.04.2020
- [18] Tesla Model S. Url, https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S, 06.04.2020
- [19] Tesla Model X Performance Sr. Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/2d24e4>, 06.04.2020
- [20] Tesla Model 3. Url, <https://www.ultimatespecs.com/tr/arabateknik-ozellikler/Tesla/M8753/Model-3>, 06.04.2020
- [21] Porsche Mission E (Taycan) (Asenkron). Url, https://tr.wikipedia.org/wiki/Porsche_Taycan, 06.04.2020
- [22] Porsche Mission E (Taycan) (Asenkron). Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/0c44ce>, 06.04.2020
- [23] Chevrolet Bolt EV (PM). Url, https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Bolt, 06.04.2020
- [24] Chevrolet Bolt EV. Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/0545d6>, 06.04.2020
- [25] BMW i8-i3 (Asenkron). Url, <https://www.bmwusa.com/vehicles/bmw/i8/pricing-features.html>, 06.04.2020
- [26] BMW i8 (Asenkron). Url, https://en.wikipedia.org/wiki/BMW_i8, 06.04.2020
- [27] Toyota Prius Acs (PMSM). Url, <https://www.toyota.com/prius/features/mpg/1221/1223/1225>, 06.04.2020
- [28] Hyundai Kona Electric (PMSM). Url, <https://www.hyundai.com/au/en/cars/suvs/kona/kona-electric>, 06.04.2020
- [29] Hyundai Kona Electric (PMSM). Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/2dee6c>, 06.04.2020
- [30] Mercedes-Benz Generation EQ (Asenkron). Url, https://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_EQC, 06.04.2020
- [31] Audi E-Tron. Url, <https://www.evspecifications.com/en/model/fff46a>, 06.04.2020
- [32] Audi E-Tron. Url, https://www.audiusa.com/models/audi-e-tron/2019/build/summary.html?pr=default-etron-2019-GE#layer=/models/audi-e-tron/2019/build.summary_layer_techdata.html, 06.04.2020
- [33] Volvo XC40 Recharge P8 (PMSM). Url-21, https://en.wikipedia.org/wiki/Volvo_XC40, 06.04.2020
- [34] Volvo XC40 Recharge P8 (PMSM). Url-22, <https://www.evspecifications.com/en/model/4c9afb>, 06.04.2020
- [35] Mounir Zeraouia, Mohamed Benbouzid, Demba Diallo. Electric motor drive selection issues for HEV propulsion systems: A comparative study. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006, 55 (6), pp.1756-1764.
- [36] Lalit Kumar n, Shailendra Jain. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. Proceedings of the ScienceDirect, 2014, Volume 29, Pages 924-940, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.014>
- [37] C.C. Chan and K.T. Chau. Modern Electric Vehicle Technology. Oxford University Press, 2001
- [38] Thomas Finken, Matthias Felden and Kay Hameyer. Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles. Proceedings of IEEE, 2009, inspec accession number: 10545119
- [39] Muhammed Ali BEYAZIT, Url, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektrikli-araclarda-kullanilan-motorlar-ve-ozellikleri/21929#ad-image-0>, 2018
- [40] Pooja Naresh Bhatta, Hemant Meharb, Manish Sahajwanib, Electrical Motors for Electric Vehicle – A Comparative Study, Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA) 2019
- [41] Shahriar Sharifan, Seyyedmilad Ebrahimi, Ashknaz Oraee and Hashem Oraee. Performance Comparison Between Brushless PM and Induction Motors for Hibrit Electric Vehicle Applications. Proceedings of IEEE, 2016, inspec accession number: 16061528
- [42] The Difference between PMSM & BLDC Motor, Texas Instruments page:29