

Smart Drawer : Yenilikçi Çekmeceli Depolama Sistemi ve PI Kontrolör ile Çekmecelerin Konum Kontrolü

Smart Drawer: Innovative Drawer Storage System and Position Control of Drawers with PI Controller

Eren Karataş¹, Doç. Dr Serhat İkizoğlu², Doç. Dr. Serkan Türkeli³, Kenan Kaan Kurt⁴, Hüseyin Tanzer Atay⁵, Mustafa Alpkın Çiçek⁶

¹Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
karatas18@itu.edu.tr

²Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
ikizoglus@itu.edu.tr

³Sağlık Yönetimi Bölümü
Sağlık Bilişimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı
Marmara Üniversitesi, İstanbul
TESODEV A.Ş., İstanbul
serkan.turkeli@marmara.edu.tr
serkan.turkeli@tesodev.com

⁴TESODEV A.Ş., İstanbul
kenan.kurt@tesodev.com

⁵TESODEV A.Ş., İstanbul
tanzer.atay@tesodev.com

⁶TESODEV A.Ş., İstanbul
alpkan.cicek@tesodev.com

Özetçe

Akıllı dolaplar, endüstriyel depolama alanında inovatif ve kullanıcı odaklı bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. "Smart Drawer", pazarda bulunan ürünlerden daha düşük maliyete ve satış fiyatına sahip olması, kullanımın gerçekleşeceği kurumun mevcut dolap sistemini ve üretim şeklini büyük ölçekte değiştirmemesi, sade bir arayüze sahip olması ve sağlamlıktan ödün vermemesi sayesinde öne çıkan ürünlerden bir tanesidir. Bu sistem, Debian temelli olup Python ve JavaScript gibi dillerle kodlanmış olup, sistemde master ve slave olarak iki tip dolap mevcuttur. Kullanıcı yetkilendirmesine dayalı işlemler uygulanmaktadır. Yetkili kullanıcının gerekli komutları sisteme vermesi durumunda step motorun hareket ettirdiği dolabın yatay ekseninde konum kontrolü PI kontrolör ile sağlanmıştır. Bu yenilikçi akıllı dolap sistemi, endüstriyel depolama alanında verimliliği artırmak ve işletmelerin lojistik süreçlerini iyileştirmek amacıyla tasarlanmıştır.

Abstract

Smart cabinets emerge as an innovative and user-centric solution in the industrial storage area. "Smart Drawer" is one of the standout products thanks to its lower cost and sales price compared to other products on the market, its not requiring significant changes to the existing cabinet system and production method of the institution where it will be used, its simple interface, and its uncompromising sturdiness. This system is Debian-based and coded in languages such as Python and JavaScript, and there are two types

of cabinets in the system: master and slave. Operations based on user authorization are implemented. When the authorized user gives the necessary commands to the system, the position control of the cabinet moved by the stepper motor on the horizontal axis is provided with a PI controller. This innovative smart cabinet system is designed to increase efficiency in the industrial storage area and to improve the logistic processes of businesses.

1. Giriş

Endüstriyel depolama ve lojistik alanında, özellikle 21. yüzyılın başlarında ve özellikle 2010'lu yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte, işletmelerin ihtiyaçlarını karşılamak ve lojistik süreçlerini optimize etmek adına çeşitli teknolojik yenilikler ve inovasyonlar ortaya çıkmıştır. İnternetin yaygınlaşması ve nesnelerin interneti (IoT) teknolojisinin benimsenmesi [1], bu süreçte önemli bir rol oynamıştır. Bu bağlamda, akıllı dolap ve çekmece sistemleri de sektördeki bu gelişmelere öncülük eden ve giderek daha fazla önem kazanan çözümler arasında yer almaktadır.

Akıllı dolaplar ve çekmeceler, işletmelerin envanter yönetimini ve depolama süreçlerini daha etkin ve verimli hale getirmek için tasarlanmış, modern teknoloji ve sensörlerle donatılmış mobilya sistemleridir. Bu sistemler, zaman ve işgücü tasarrufu sağlamakta, aynı zamanda lojistik süreçlerin daha iyi izlenebilir ve yönetilebilir olmasına katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla, işletmelerin rekabet gücünü ve verimliliğini artırmak,

lojistik maliyetlerini azaltmak adına akıllı dolap ve çekmece sistemleri önemli bir yere sahiptir [2].

Bu yazı, TESODEV A.Ş tarafından geliştirilen, T.C Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı kodu 50442 olan, akıllı bir çekmeceli dolap sistemi üzerinde yapılan iyileştirmeler, bu sistemlerin işletmelere sağladığı avantajlara ve kullanım süreçlerine odaklanmaktadır. Yazıda, akıllı dolap ve çekmece sistemlerinin temel prensipleri ve teknolojik bileşenleri üzerinde durulmakta; çeşitli kullanım alanları ve uygulamaları, sektördeki en son trendler ve gelecekteki beklentiler ile birlikte ele alınacaktır. Yazının amacı, akıllı dolap ve çekmece sistemlerinin endüstriyel depolama ve lojistik alanında sağladığı katkıları ve potansiyel faydalarını ortaya koymak, sektör profesyonellerine ve akademisyenlere yol gösterici olmak ve bu alandaki gelecekteki araştırmalar için temel oluşturaktır.

2. Akıllı Dolap Uygulamaları ve İşletmelere Katkıları

Akıllı dolap sistemleri, endüstriyel depolama ve lojistik alanlarında kullanıldığı gibi, birçok sanayi ve hizmet sektöründe de etkin bir şekilde uygulanmaktadır. İşletmelere sağladığı avantajlar ve katkılar detaylı bir şekilde aşağıda sunulmaktadır.

2.1 Uygulama Alanları

Akıllı dolap sistemlerinin çeşitli sektörlerdeki kullanım alanları şunlardır:

- Üretim ve envanter yönetimi:** İşletmelerin üretim süreçlerini ve stoklarını etkin bir şekilde takip etmelerine, sipariş ve dağıtım süreçlerini otomatize etmelerine olanak sağlar. Bu sayede, işletmeler zamanında üretim ve sipariş gerçekleştirerek, tedarik zincirindeki hataları en aza indirebilir [3].
- Sağlık hizmetleri:** Hastanelerde ve sağlık kuruluşlarında ilaç ve tıbbi malzeme yönetimi, hasta kayıtları ve diğer hassas verilerin saklanması ve takibi için kullanılır. Bu, hastaların tedavi süreçlerinin optimize edilmesine ve hızlandırılmasına, hangi hastanın hangi ilaçtan ne oranda alması gerektiğinin yönetimi gibi konular altında katkıda bulunur [4,5].
- Perakende sektörü:** Stok yönetimi, ürün takibi ve sipariş süreçlerinin otomasyonu için tercih edilir. Bu da, işletmelerin müşteri taleplerine daha hızlı ve doğru bir şekilde yanıt vermesine ve hizmet kalitesini artırmasına olanak tanır [6].

2.2 İşletmelere Katkıları

Akıllı dolap sistemlerinin işletmelere sağladığı önemli katkılar şunlardır:

- Verimlilik artışı:** Otomatik envanter yönetimi ve ürün takibi sayesinde işletmelerin zaman ve işgücü tasarrufu sağlar. Bu, işletmelerin daha hızlı ve etkili bir şekilde çalışmasına ve üretkenliğin artırılmasına katkıda bulunur [7].
- Maliyet azaltma:** Lojistik süreçlerin optimize edilmesi ve daha doğru envanter yönetimi ile işletmeler, stok maliyetlerini ve israfları azaltabilir. Bu, işletmelerin finansal performansının artırılmasına ve sürdürülebilir büyümenin sağlanmasına katkıda bulunur [8].
- Güvenlik ve güvenilirlik:** Akıllı dolap sistemleri, kullanıcı yetkilendirmesine dayalı

işlemler sayesinde hassas verilerin ve değerli eşyaların güvenli bir şekilde saklanması sağlar. Ayrıca, erişim kayıtları ve raporlama özellikleri ile işletmeler, dolapların kullanımını ve güvenliğini daha etkin bir şekilde izleyebilir [9].

- Esneklik ve ölçeklenebilirlik:** Akıllı dolap sistemleri, işletmelerin değişen ihtiyaçlarına ve büyüme hedeflerine uyum sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede, işletmeler mevcut altyapılarına kolayca entegre edebilir ve ihtiyaç duydukları sürece ölçeklendirebilir [10].
- Veri analizi ve karar destek:** Akıllı dolap sistemleri, topladığı verileri analiz ederek işletmelere önemli içgörüler sunar. Bu, işletmelerin lojistik süreçlerini ve üretim planlamalarını daha etkin bir şekilde yönetmelerine, riskleri azaltmalarına ve kararlarını daha bilinçli bir şekilde almalarına yardımcı olur [11,12].

İşletmelerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir ve ölçeklenebilir akıllı dolap ve çekmece sistemleri, kullanıcı yetkilendirmesine dayalı işlemlerle güvenli ve güvenilir bir şekilde çalışır. Ayrıca, veri analizi ve karar destek özellikleri sayesinde işletmeler, süreçlerini daha etkin ve bilinçli bir şekilde yönetebilir.

3. Smart Drawer Ürün İncelemesi

TESODEV A.Ş tarafından üretilen "Smart Drawer" (Akıllı Dolap) adlı cihaz, işletmeler için oldukça yenilikçi ve değerli bir envanter yönetim sistemi sunmaktadır. Bu sistem, özellikle, çağdaş işletmelerin sürekli artan ihtiyaçlarına uygun bir dizi sofistike özellik sağlayarak, envanter yönetimi ve kontrol süreçlerinin daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir hale gelmesine olanak tanımaktadır.

"Smart Drawer" cihazı, işletmelerin envanter yönetim süreçlerini otomatize etmek amacıyla tasarlanmıştır. Otomasyon özelliği, yerleşik sensörler ve RFID etiket okuyucular sayesinde gerçekleştirilir. Bu teknolojilerin bir araya getirilmesi, çalışanların envanter ile ilgili görevlerde harcadığı zamanın azalmasına ve böylece işletmelerin verimliliğinin artmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle, bu süreçte RFID teknolojisinin kullanılması, akıllı dolapların envanterdeki her bir ürünü veya malzemeyi ayrı ayrı tanımlayabilmesine ve bunların durumunu sürekli olarak güncellemesine olanak sağlar.

Cihaz, bir bulut tabanlı veri yönetimi sistemi ile entegre olarak çalışmaktadır. Bu entegrasyon sayesinde işletmeler, envanter bilgilerine herhangi bir yerden ve herhangi bir zamanda erişebilir ve güncellemeler yapabilirler. Bu, envanter takibini ve raporlamasını daha kolay ve daha güvenilir hale getirir. Bulut tabanlı sistemlerin kullanılması, ayrıca işletmelerin envanter verilerini saklama ve paylaşma konusunda daha esnek ve güvenli bir çözüm sunar.

Cihazın bir diğer önemli özelliği, çalışanlar için kişiselleştirilmiş erişim sağlamaktır. Bu, belirli çalışanların belirli ürünlere veya malzemelere erişmesini kontrol etmek için kullanılabilir, böylece işletmeler güvenlik seviyelerini artırabilir ve yetki dışı kullanımı önleyebilir. Kişiselleştirilmiş erişim, özellikle hassas malzemeler veya değerli ürünler söz konusu olduğunda, işletmelerin envanter yönetim süreçlerini daha güvenli ve düzenli hale getirmesine yardımcı olur.

Enerji tasarrufu ve verimlilik özelliği de cihazın dikkate değer özelliklerinden biridir. Cihaz, düşük enerji tüketen bileşenler ve akıllı enerji yönetimi sistemleri kullanarak enerji kullanımını en aza indirir. Bu sayede işletmeler, enerji maliyetlerinden tasarruf eder ve daha sürdürülebilir bir çözüm sunar. Enerji tasarrufu, özellikle

enerji maliyetlerinin ve çevre üzerindeki etkilerin giderek arttığı günümüzde, işletmeler için büyük önem taşımaktadır.

Modüler bir tasarıma sahip olan cihaz, işletmelere ihtiyaçlarına göre akıllı dolapları özelleştirebilecekleri ve genişletebilecekleri bir serbest alan tanır. Modüler tasarım, işletmelerin büyümesi ve değişen ihtiyaçlara uyum sağlamaları için esneklik sunar. İşletmeler, bu sayede envanter yönetim sistemlerini daha uygun maliyetlerle ve daha kısa sürede genişletebilir veya özelleştirebilir.

"Smart Drawer"ın kullanıcı dostu bir arayüze sahip olması, işletmelerin cihazı kolayca yönetmelerini ve kullanmalarını sağlar. Bu arayüz, çalışanların envanter yönetim süreçlerini anında öğrenmelerine ve uygulamaya koymalarına olanak tanır. Bu sayede işletmeler, eğitim ve uyarılma süreçlerini kısaltarak daha hızlı bir şekilde sistemi kullanmaya başlayabilirler.

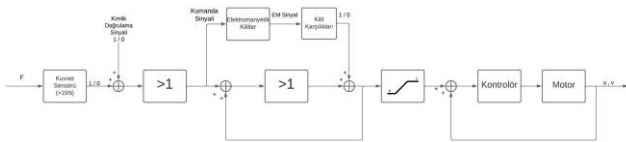
Cihazın üretici tarafından sağlanan profesyonel destek ve güncellemeler, işletmelerin "Smart Drawer" sistemini kullanmalarını daha güvenilir ve sürdürülebilir hale getirir. Üretici, düzenli olarak güncellemeler sunarak cihazın performansını ve güvenliğini artırır. Ayrıca, teknik destek hizmetleri sayesinde işletmeler, sistemle ilgili herhangi bir sorunla karşılaştıklarında hızlı ve etkili bir çözüm bulabilirler.

Sonuç olarak, TESODEV'in "Smart Drawer" ürünü, işletmelerin envanter yönetimi ve kontrol süreçlerini önemli ölçüde iyileştirmeye yönelik kapsamlı bir çözüm sunmaktadır. Cihazın sunduğu özellikler, işletmelerin verimliliğini artırmalarına, güvenlik seviyelerini yükseltmelerine, enerji tasarrufu sağlamalarına ve büyüme ve değişen ihtiyaçlara uyum sağlamalarına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, "Smart Drawer"ın, işletmelerin envanter yönetim süreçlerini daha akıllı, verimli ve sürdürülebilir hale getirmeye yönelik önemli bir katkı sağlayabileceği söylenebilir.

4. Smart Drawer Sistem Analizi

1. Mekanik Alt-Sistemi

Mekanik alt-sistem; dolap, elektromekanik kilitler, dolap hareketini sağlayan motor, güç sensörü, şasi bağlantısı ve kilit karşılıkları gibi bileşenleri içermektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere, mekanik alt-sistem işleyişinde, 2. ve 3. alt başlıklarda anlatılacak olan elektronik ve yazılım alt-sistemlerinden elde edilen sinyalleri ve kullanıcının dolaba uyguladığı çekme kuvvetini giriş olarak kabul eder ve çıkış, kullanıcının verdiği komutun gerçekleştirilmesi, yani çekmece hareketi ve hareket hızı şeklinde ifade edilebilir.



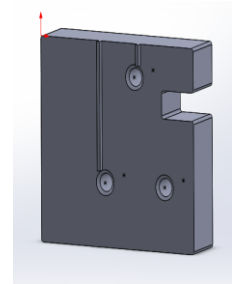
Şekil 1 : Mekanik alt-sistem blok diyagramı

Elektronik alt-sisteme bağlı olan RFID kart tanıma sistemiyle entegre çalışan yazılım alt-sistemi, kart tanıma işlemi gerçekleştirildikten sonra üretilecek olan ikili sinyal (1/0); mekanik alt-sistemin girişi olan çekme kuvvetinin bir güç sensörü tarafından Newton cinsinden ölçülen kuvvetin 15N'den büyük olması durumunda üretilecek olan ikili sinyal ile toplama işlemine girer. Toplanan bu iki sinyal daha sonrasında eşik değeri 1 olan bir eşik bloğuna girer. Daha sonrasında kilitlerin açılması için Şekil 2.b'de gözlemlenebilen elektromanyetik kilitlere bir sinyal gönderilir ve kilitlerin Şekil 2.c'de gözlemlenebilen kilit karşılıklarının açık olup olmadığına dair bir ikili sinyal alınır. Bu ikili sinyal daha önce eşik

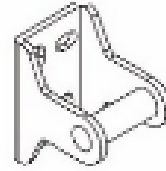
bloğundan geçmiş olan ikili sinyal ile toplandıktan sonra eşik değeri 1 olan başka bir eşik bloğuna pozitif geribesleme sinyali oluşturur ve daha sonrasında bu bloğun çıkışı bir saturasyon bloğuna giriş çıkış yaparak, motordan alınan pozitif geribesleme sinyali ile toplanarak şasi (Şekil 2.a) üzerinde bulunan motorun hız ve konum kontrolünü yapacak olan PI tipi kontrolöre giriş oluşturur. Bu kontrolör ise motorun kontrolünü sağlar ve düzgün motor hareketi ile dolap (Şekil 2.d) hareketi sağlanmış olur. Şekil 2'de detaylı olarak incelenebilen şasi sistemi (a), elektromanyetik kilitleri (b) ve seperatörlü dolap çekmecelerinin (d) hareketini sağlayacak motoru üzerinde barındırmaktadır. Bu elektromanyetik kilitlerin kilit karşılıkları (c) ise seperatörlü dolap üzerinde konumlanmıştır.



(a) Şasi sistemi



(b) Elektromanyetik kilit



(c) Kilit karşılıkları

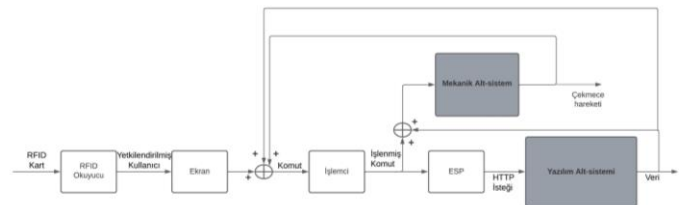


(d) Seperatörlü dolap çekmecesi

Şekil 2 : Mekanik alt-sistem komponentleri

2. Elektronik Alt-Sistemi

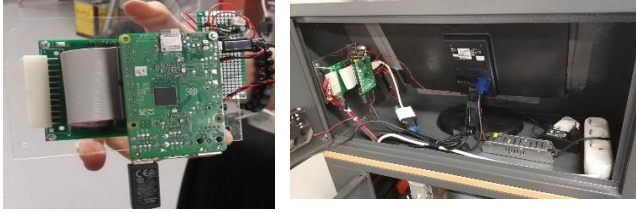
Elektronik alt sistem; kablolu ve kablosuz iletişim modülleri, güç kartı, RFID okuyucu, ekran ve işlemci gibi bileşenlerden meydana gelir. Kablosuz iletişim modülünde ESP8266-12F kullanılarak, internet bağlantısı erişim noktası aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu sayede, veritabanı işlemleri, Nesnelerin İnterneti (IoT) uygulamaları ve stok yönetimi faaliyetleri yürütülür. Şekil 3'te daha detaylı olarak incelenebilen elektronik alt sistem, RFID okuyucu tarafından yetkili kartı okutmuş ve yetkilendirilmiş kullanıcılardan alınan komutları kontrol sinyallerine dönüştürerek mekanik alt sisteme iletmekte ve dolap hareketinin sağlanması aşamalarında kullanıcı yetkilendirme gibi işlemleri yürütmektedir. Ayrıca, HTTP istekleri oluşturarak yazılım alt sistemi ile etkileşime geçer.



Şekil 3 : Elektronik alt-sistem blok diyagramı

Şekil 4'te ayrıntılı olarak incelenebilen elektronik alt sistemin bileşenlerini barındıran anakart (a), iletişim modülünde bulunan ve internete bağlı ESP8266 ile HTTP istekleri oluşturarak, 3.3 Yazılım Alt Sistemi'nde bahsedilen yazılım alt sistemi ile etkileşime girer. Yazılım alt sistemi içerisinde bulunan veritabanından ve mekanik alt sistemde yer alan elektromekanik kilitlerden aldığı verileri geri besleme olarak kullanarak, kullanıcı

tarafından ekrana (b) girilen komutların kontrol sinyallerine dönüştürülmesi sürecinde doğrulamalar gerçekleştirir ve bu kontrol sinyallerini düzenler.



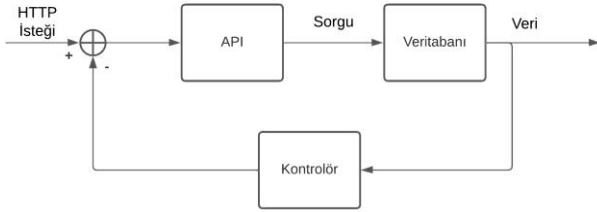
(a) Haberleşme modülü, işlemci, güç kartı, RFID okuyucu ve ekran bağlantısını barındıran anakart

(b) Smart Drawer'ın ekran arkası görüntüsü

Şekil 4 : Elektronik alt-sistem bileşenleri

3. Yazılım Alt-Sistemi

Yazılım alt-sistemi, veritabanı sorgulanmalarını ve haberleşmelerini sağlayacak olan API (Application Programming Interface), kontrolör ve veritabanından oluşmaktadır. Elektronik alt-sisteminden gelen HTTP isteklerini API'ye iletir, API veritabanını sorgulama işlemini gerçekleştirir ve bu veritabanından gelen veriler negatif geribesleme olarak HTTP isteklerini işlerken kullanılır. Şekil 5 ile daha detaylı bir şekilde incelenebilen yazılım alt-sistemi, içinde bulundurduğu kontrolör yapısı ile kendi sisteminde bir kapalı döngü kontrol sistemi oluşturur ve elektronik alt-sistemine ilettiği veri kendi içinde işlediği bir veri olur. Bu veri kullanıcının yetki durumunu, dolaptaki ürün bilgilerini, stok yönetimi için gerekli olan bütün verileri içerir.



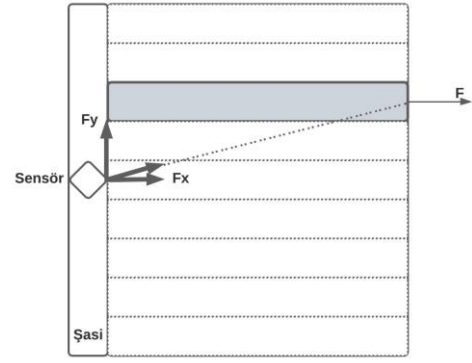
Şekil 5 : Yazılım alt-sistem blok diyagramı

5. Smart Drawer Dolap Hareketi Kontrol Sistemi

1. Sistem Tasarımı

Smart Drawer sistemi içerisinde bulunan seperatörlü dolapların hareketini sağlayan, 4. Smart Drawer Sistem Analizi : 1. Mekanik Alt-sistemi kısmında bahsi geçen kontrol sistemi, Şekil 1'de de gözlemlenebildiği üzere, çekme kuvvetini ve yetkilendirme sinyalini giriş alan, çıkışı ise dolabın yatay hareketi ve yatay hızı olan bir kontrol sistemidir.

Sistemi girişi olan çekme kuvvetinin ölçülmesi ve mekanik enerjinin sinyale dönüştürülmesi aşamasında Futek FSH00102 minyatür yük hücresi sensöründen yararlanılmıştır. Çekilecek olan dolabın yük anlık ağırlığı, sürtünme kuvveti gibi faktörlerin gereken çekme kuvvetini değiştirmesinden kaçınılması için sensör Şekil 2.a'de gözlemlenebilen şasi sisteminin içine yerleştirilmiş olup, sensörün kuvvet ölçümü sonrası ikili sinyal olarak üretecek olan algoritmanın geometrik ifadesi Şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6 : Kuvvet sensörünün okuduğu değer işleme algoritmasının, dolabın yandan görünüm şematigi üzerinden geometrik ifadesi

Şekil 6 üzerinden de detaylı bir şekilde inceleyebileceği üzere, kuvvet sensörünün okuduğu değer dolaptan dolaba farkedebileceği ön görülerek, uygulanan çekme kuvvetinin yatay eksen üzerindeki vektörel büyüklüğü olan F_x bileşeninin ortalama büyüklüğü, her dolap seviyesinde uygulanacak F kuvveti ile F_x bileşeni arasındaki θ açısının ortalama değeri yazılım üzerinde tanımlanarak aşağıda görülen 1. matematiksel ifade ile hesaplanmıştır ve bu büyüklük 15 N olarak belirlenmiştir.

$$F_x = F \cos(\theta), \quad (1)$$

Daha basit bir ifade ile, kuvvet sensörü 15 N ve üzeri bir değer okuduğunda Şekil 1'deki kuvvet sensörü bloğu bir ikili sinyal üretecek şekilde ayarlanmıştır. Daha önceden okutulmuş RFID kart ile kullanıcının yetkili olup olmadığına dair bir ikili sinyal ile toplanarak eşik bloğuna bir giriş oluşturulur. Eşik değerinin geçilmesi durumunda bu sinyal elektromanyetik kilitleri açar. Şekil 1 üzerinde gözlemlenebilen pozitif geri besleme ile toplanan sinyal başka bir eşik değerinden geçtikten sonra sistem yetkili bir kullanıcının dolap açmak istediği senaryoya dair saturasyon bloğuna giren bir sinyal üretir ve bu sinyal pozitif geribesleme ile çalışan kontrolör ve motor bloklarına basamak girişi olarak iletilir. Kontrol edilmek istenilen dolabın yatay hareketi, seçilen NEMA 23 Step Motor içerisinde bulunan enkoder üzerinden geribesleme sinyali olarak işlenmiştir.

Motorun transfer fonksiyonu TESODEV A.Ş tarafından motorun üretici firması ile görüşülerek elde edilmiştir. Elde edilen bu transfer fonksiyonuna istinaden firma yetkililerince çıkarılan, giriş sinyali olarak voltaj, çıkış olarak ise dolabın yatay konumunu alan sistemin transfer fonksiyonu şu şekildedir;

$$G(s) = \frac{X(s)}{V(s)} = \frac{0.007143}{3.8 * 10^{-7} s^3 + 9.38 * 10^{-5} s^2 + 0.511111 s}, \quad (2)$$

Tasarlanacak olan kontrol sisteminin çıktısının en büyük iki isteri, yapılan pazar araştırmaları ve müşteri istekleri doğrultusunda %1 veya daha altı bir aşma oranı ve hata toleransları ile beraber yaklaşık 2 saniyelik bir yerleşme zamanı olarak belirlenmiştir. Tablo 1 üzerinde de detaylı bir şekilde incelenebilen isterler doğrultusunda kontrolör tasarımına geçilirken, tasarlanacak olan kontrolörün PI tipi bir kontrolör olması gerektiği kanısına varılmıştır.

Tablo 1: Tasarlanacak sistemin dizayn isterleri

Parametre	Değer
Aşma oranı	%1 ve altı
Yerleşme Zamanı	2 ± 0.2 saniye

2. PI Tipi Kontrolör Tasarımı

PI Kontrolör tasarımı sürecinde, MATLAB programında bulunan araçların da yardımı ile, hem Kontrol Teorisi metodları hem de Sıralı Karesel Programlama (Sequential Quadratic Programming, SQP) gibi nümerik metodlar kullanılmıştır.

Tablo 1 üzerinden de incelenebileceği üzere, aşımı sıfıra yakın tutacak, ve yerleşme zamanını 2 saniye seviyesinde tutacak dizayn isterleri göz önünde bulundurularak bir PI kontrolör tasarlanmıştır. Tasarım başlangıcında PI kontrolör aşağıdaki formattadır;

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}, \quad (3)$$

Sırasıyla K_p ve K_i , oransal ve integral kazançlarını ifade etmektedir.

Tasarım sürecine, istenen zaman alanı özelliklerini frekans alanı özelliklerine çevirerek başlanmıştır. Yerleşme süresi (T_s), bir ikinci derece sisteminin sönüm oranı (ζ) ve doğal frekansı (ω_n) ile $T_s \approx \frac{4}{\zeta\omega_n}$ ilişkisindedir. İstenen yaklaşık 0% aşım, 1 sönüm oranına ($\zeta = 1$) karşılık gelir. İstenen 2 saniye yerleşme süresi yaklaşık 4 rad/san doğal frekansa çevrilir.

PI denetleyici parametrelerini ayarlayarak açık döngü sistemi $G(s)C(s)$ 'nin istenen sönüm oranına karşılık gelen bir faz marjı ve istenen doğal frekansa karşılık gelen bir geçiş frekansının sergilenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için, istenen ve gerçek değerler arasındaki hata fonksiyonunu minimize eden sayısal optimizasyon tekniklerinden biri olan "En Küçük Kareler" (Least Squares) kullanılmıştır. Hata minimize fonksiyonu ise şu şekildedir;

$$hata = (\xi - \xi_{tahmin})^2 + (\omega_n - \omega_{n tahmin})^2, \quad (4)$$

Burada ξ_{tahmin} ve $\omega_{n tahmin}$, sırasıyla sistemde tahmin edilen sönüm oranı ve doğal frekanstır. Bunlar, açık döngü sistemi $G(s)C(s)$ 'nin frekans yanıtından elde edilir [13].

Bu doğrusal olmayan optimizasyon problemini çözmek için MATLAB Optimizasyon Araç Kutusu'nun hata fonksiyonunu minimize eden denetleyici parametrelerini bulmak için Sıralı Karesel Programlama (Sequential Quadratic Programming, SQP) yöntemini kullanan 'fmincon' fonksiyonu kullanılmıştır [14].

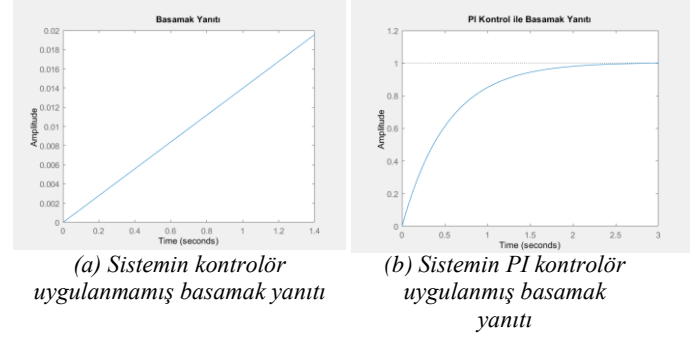
Bu tasarım sürecinin sonuçları, PI denetleyici parametrelerine yönelik başlangıç tahminine bağlıdır. Bu durumda, deneme-yanılma sürecinden elde edilen $K_p = 150$ ve $K_i = 2$ değerleri başlangıç tahmini olarak kullanılmıştır. Çalıştırılan MATLAB kodunun verdiği sonuçlar neticesinde bulunan değerler Tablo 2'de verilmiştir ve PI kontrolör fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$C(s) = \frac{135s + 1.06}{s}, \quad (5)$$

Tablo 2: Yapılan hesaplama sonucu bulunan PI kontrolör katsayıları

Katsayı	Değer
Oransal (K_p)	135
İntegral (K_i)	1.06

Yukarıda verilen 5. matematiksel ifadede yer alan PI kontrolörün, 2. ifadede yer alan transfer fonksiyonuna kapalı çevrim olarak uygulanmış halinin basamak yanıtı ile simülasyon sonucu (b) ve kontrolör uygulanmadan önceki basamak yanıtı (a) ise Şekil 7 üzerinden incelenebilir olup, simülasyon sonucu elde edilen yerleşme zamanı ve aşım oranları Tablo 3 üzerinden incelenebilir.



Şekil 7 : Sistemin basamak yanıtları

Tablo 3: Kapalı çevrim simülasyon sonucu elde edilen aşma oranı ve yerleşme zamanı

Parametre	Değer
Aşma oranı	% 0.3043
Yerleşme Zamanı	1.9836

Sonuç olarak, bu bölümde sunulan metodoloji, üçüncü dereceden sistemler için PI denetleyici tasarımına sistematik bir yaklaşım sağlar. Bu yaklaşım, özellikle aşım ve yerleşme süresi gibi belirli zaman alanı özelliklerinin karşılanması gerektiğinde faydalıdır.

3. Kontrolörün Gerçeklenmesi

Bu bölümde, tasarlanan PI denetleyicinin adım motorunu kontrol etmek üzere nasıl gerçekleştirildiği ve step motor üzerindeki enkoderden sensör geri beslemesi alınması süreci detaylandırılmaktadır.

PI denetleyicisi, adım motorunu kontrol etmek üzere bir mikrodenetleyici üzerinde yazılım olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrolör algoritması, belirlenen örnekleme süresi boyunca sürekli bir döngü içinde çalışmaktadır. Her örnekleme süresinde, denetleyici adım motorunun mevcut konumunu okur, hedef konum ile karşılaştırır ve bu hata bilgisini kullanarak yeni bir motor komutu oluşturur.

Step motorun mevcut konumu, motor içinde bulunan enkoder kullanılarak okunmuştur. Bu sinyal, mikrodenetleyici tarafından okunup ve dolabın mevcut konumu olarak yorumlanmıştır [15]. Denetleyicinin motor komutu, motorun hedef konumuna ulaşmasını sağlamak için gereken adım sayısını belirler. Bu komut, step motor sürücüsüne iletilir, bu da motoru belirlenen sayıda adım döndürür.

PI denetleyicinin hedef konum, mevcut konum ve motor komutu arasındaki ilişkiyi gösteren aşağıdaki eşitlikler kullanılarak formüle edilmiştir:

$$hata = x_{hedef} - x_{anlık}, \quad (5)$$

$$integral\ hata = (integral\ hata) + hata * (\text{örneklem süresi}), \quad (6)$$

$$motor\ komutu = K_p * hata + K_i * (integral\ hata), \quad (7)$$

Burada K_p ve K_i , tasarlanan PI denetleyicinin oransal ve integral kazançlarıdır, elde edilen ve gerçekleştirilen PI kontrolörün uygulandığı fiziki sistemin gerçekte ölçülen aşma oranı ve yerleşme zamanı ise tablo 4 üzerinden incelenebilir.

Tablo 4: Kontrolör uygulanan fiziki sistemin aşma oranı ve yerleşme zamanı

Parametre	Değer
Aşma oranı	% 0.4
Yerleşme Zamanı	2.017

Sonuç olarak, bu bölümde, bir adım motorunu kontrol etmek üzere tasarlanan PI denetleyicinin gerçekleştirilmesi ve sensör geri beslemesinin nasıl alındığı üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşım, motorun hassas konumlandırılmasını sağlar ve motorun hedef konuma ulaşmasını sağlar.

6. Sonuç

Bu çalışmada, TESODEV A.Ş tarafından tasarlanan ve üretilen "Smart Drawer" adlı bir sistem için mekanik, elektronik ve yazılım alt sistemlerinin analizi ve dolap hareketini sağlayan sistemin kontrolör tasarım basamakları sunulmuştur.

Mekanik alt-sistem, kullanıcıdan alınan çekme kuvvetini ve elektronik alt-sistemden gelen sinyalleri giriş olarak kabul eder ve çıkışı, kullanıcının verdiği komutun gerçekleştirilmesi şeklinde ifade edilir. Elektronik alt sistem, kablosuz iletişim modülleri, güç kartı, RFID okuyucu, ekran ve işlemci gibi bileşenlerden meydana gelir. Yazılım alt-sistemi, veritabanı sorgulamalarını ve haberleşmelerini sağlayacak olan API, kontrolör ve veritabanından oluşmaktadır.

Dolap hareketi kontrolü için bir PI kontrolör tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Kontrolör, step motor kontrol etmek üzere bir mikrodenetleyici üzerinde yazılım olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrolör algoritması, belirlenen örneklem süresi boyunca sürekli bir döngü içinde çalışmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, bir dolap hareketi kontrol sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi için kapsamlı bir metodoloji sunmaktadır. Bu metodoloji, özellikle aşım ve yerleşme süresi gibi belirli zaman alanı özelliklerinin karşılanması gerektiğinde faydalıdır. Bu yaklaşım, motorun hassas konumlandırılmasını sağlar ve motorun hedef konuma ulaşmasını sağlar.

Kaynakça

- [1] Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., & Wang, H. (2014). A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. *IEEE Internet of Things journal*, 1(4), 349-359.
- [2] Ergüden, A. E., Kaya, C. T., Tanyer, B., & TÜRKÜYLMAZ, M. (2018). ENDÜSTRİ 4.0'IN GETİRDİĞİ DEVRİMSSEL DEĞİŞİMLER İŞİĞİNDE MUHASEBE SİSTEMLERİNİN YENİDEN YAPILANDIRILMASI. *Muhasebe ve denetime bakış*, 18(54), 139-148.
- [3] Murti, D. S. (2012). Radio frequency identification (RFID) antenna development.
- [4] Zaric, A., Cruz, C. C., de Matos, A. M., da Silva, M. R., Costa, J. R., & Fernandes, C. A. (2015). RFID-based smart blood stock system [education column]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 57(2), 54-65.
- [5] Vinjumur, J. K. (2010). Detecting medication consumption patterns in assistive environments. *The University of Texas at Arlington*.
- [6] D'Alessandro, A., Buffi, A., Nepa, P., & Isola, G. (2012, December). RFID-based smart shelving storage systems. In *2012 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings* (pp. 1034-1036). IEEE.
- [7] Leng, J., & Long, L. (2022, April). Design of Voice Smart Drawer. In *2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC)* (pp. 916-920). IEEE.
- [8] Doukas, C. (2016). Intelligent Mining and Pattern Recognition of Medical Data for Context Aware Telemedicine Applications.
- [9] Becker, E., Metsis, V., Arora, R., Vinjumur, J., Xu, Y., & Makedon, F. (2009, June). SmartDrawer: RFID-based smart medicine drawer for assistive environments. In *Proceedings of the 2nd international Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive environments* (pp. 1-8).
- [10] Pohling, M., Leichsenring, C., & Hermann, T. (2019). Base Cube One: A location-addressable service-oriented smart environment framework. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 11(5), 373-401.
- [11] Metsis, V. (2012). A Computational Framework for Human-Centered Multimodal Data Analysis.
- [12] Shi, J., & Li, Q. (2021). "Intelligent" Technical Guidelines for Chongqing East Railway Station Building and Supporting Hub Area. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-12.
- [13] Goodwin, G. C., Graebe, S. F., & Salgado, M. E. (2001). *Control system design* (Vol. 240). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [14] Boyd, S. P., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex optimization*. Cambridge university press.
- [15] Kenjo, T., & Sugawara, A. (1984). *Stepping MotorSand Their Microprocessor Controls*. 일진사, PP230, 266.