



Laboratuvar Uygulamaları için Bağımsız Kontrol ve Geri Bildirim Özellikli Tam Otomatik Çoklu Manyetik Karıştırma Sistemi

Göktuğ Can Şimay
22067606

Ali Doğan
22067605

Proje Danışmanı: Prof. Dr. Haydar Livatyalı

İçerik

Grup Üyeleri

Problem ve Motivasyon

Çalışmanın Amacı ve Paydaşların Beklentileri

Literatür Taraması ve Piyasadaki Diğer Ürünler

Fonksiyonel Analiz

İhtiyaç Analizine Göre Konsept Tasarım

Metodoloji ve Yöntem

Sonuç ve Soru – Cevap

Grup Üyeleri



Göktuğ Can Şimay

Grup Üyesi

Kontrol

PID Optimizasyonu ve Simülasyon
3D Modelleme



Ali Doğan

Grup Üyesi

Kullanıcı Arayüzü
Uzaktan Kontrol
3D Modelleme

Problem ve Motivasyonumuz

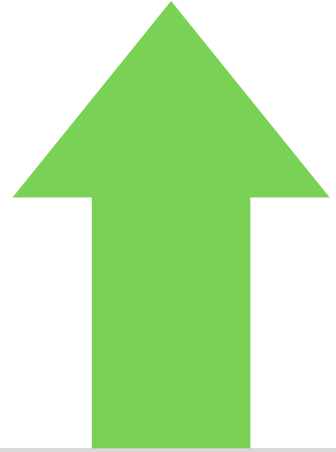
Türkiye'de laboratuvar cihazlarında yerli üretim eksikliği, ithalat bağımlılığını artırmakta ve kullanıcıların yüksek maliyetli cihazlara yönelmesine neden olmaktadır. Bu proje ile, yerel ve ekonomik bir çözüm üreterek pazar ihtiyacına cevap verecek son ürün üretilmeyi amaçlıyoruz.



Paydaşlar

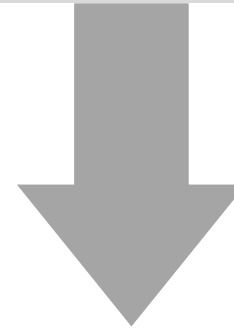
İç Paydaşlar

- > Yıldız Teknik Üniversitesi
- > Danışman Öğretim Üyesi - Prof. Dr. Haydar Livatyalı
- > Proje Ekibi - Göktuğ Can Şimay ve Ali Doğan



Dış Paydaşlar

- > Son Kullanıcılar - Test Yapılacak Laboratuvarlar
- > Müşteriler - Laborantlar ve Kimyagerler
- > TÜBİTAK (Destek Alınırsa)



Çalışmanın Amacı ve Paydaşların Beklentileri

➤ Maliyet Avantajı Sağlanması

➤ Uzaktan Kontrol ve Takip Edilebilmesi



➤ Bütün Bölümlerin Bağımsız Kontrol Edilmesi ve Zincirleme Görevler Tanımlanabilmesi

➤ Sıcaklık ve pH Ölçümlerinin Otomatik Yapılması, Sisteme Geri Beslenmesi ve Analiz İçin Raporlanması

Piyasa Ürünlerinin Taraması ve Fiyat Performans Karşılaştırması

Boyar Maddeler (0.001 - 0.01 Pa*s)	Apre Solüsyonları (0.01 - 0.1 Pa*s)
Koagülant Çözeltileri (0.01 - 0.05 Pa*s)	Su (0.001 Pa*s)
Şuruplar (0.1 - 0.5 Pa*s)	Serum Çözeltileri (0.001 - 0.01 Pa*s)
Solventler (Etanol, Aseton) (0.001 - 0.1 Pa*s)	Polimer Çözeltileri (0.1 Pa*s)

Kendi
Ürünümüz

~30.000 ₺

Arıtma, Kimya
ve İlaç

Labda Sabit

Touchscreen
30-500 RPM
0.001-1 Pa*s
6 Bölüm
24 Litre

Uzaktan
Kontrol

Otomatik pH
– Sıcaklık
Kontrolü

Bölmelere
Üçer Görev
İmkânı



Heidolph Hei-Tec

Wiggins
WH620R-L

183.000 ₺

LCD
50-400 RPM
6 Bölüm
20 Litre

IKA RCT
Basic

88.400 ₺

LCD
50-750 RPM
1 Bölüm
6 Litre

Heidolph
Hei-Tec

56.920 ₺

Analog
50-500 RPM
4 Bölüm
20 Litre

Stuart
UC152

14.500 ₺

Analog
30-450 RPM
1 Bölüm
5 Litre

IKA RCT Basic



Çalışma Prensibi



**Silindirik Manyetik
Karıştırıcı Balık
İç = Demir
Dış Kaplama = PTFE**

Fonksiyonel Analiz



Black Box Model



3 Piksel Çizgi= Sistem Sınırları, 1 Piksel Çizgi= Ana Fonksiyonlar, No Border= Alt Fonksiyonlar

Konsept Tasarım

Motor	RS-550 BDC Motor	BLDC Motor	Servo Motor
Sürücü	BTS7960 Motor Sürücü	L298N	ESC
Mıknatıs	Neodimiyum Disk Mıknatıs	Ferrit Mıknatıs	Samaryum-Kobalt Mıknatıs
Manyetik Balık	Silindirik Manyetik Karıştırıcı Balık	Oval Manyetik Balık	Çapraz Şekilli Manyetik Balık
Kontrol Yöntemi	PID Kontrolörü	Bulanık Mantık Kontrol	Aç-Kapa Kontrol
Mikrodenetleyici	Raspberry Pi 4	STM32	Arduino Due
Kullanıcı Arayüzü	7 İnç Dokunmatik Ekran	LCD	Buton
Encoder/Hız Sensörü	AMS AS5600 Hall Effect Rotary Encoder	Optik Sensör	Pololu Manyetik Encoder
Sıcaklık Sensörleri	DS18B20	DHT22	LM35
pH Sensörleri	Atlas pH Kit	Analog pH Probu	DFRobot Digital ph Sensör
Güç Kaynağı	12V 10A Güç Kaynağı	24V 5A Güç Kaynağı	USB-C Güç Kaynağı
Tabla Malzemesi	Alüminyum	Paslanmaz Çelik	Seramik
Şasi Malzemesi	Galvanize Sac	Paslanmaz Çelik	Plastik
Yazılım Dili	Python	C++	LabVIEW

Konsept Tasarım

Konsept 1:

RS-550 BDC Motor
BTS7960 Motor Sürücü (daha hassas kontrol)
Neodimiyum Disk Mıknatıs (0.5 T; 15 mm çap)
Silindirik Manyetik Karıştırıcı Balık
PID Kontrolörü
Raspberry Pi 4 (modül entegrasyon kolaylığı)
7 İnç Dokunmatik Ekran (daha rahat bir kullanıcı arayüz imkanı)
Pololu Manyetik Encoder (entegrasyonu kolay)
DHT22 (+- 0.5 °C)
Atlas pH Kit
12V 10A Güç Kaynağı
Paslanmaz Çelik
Galvanize Sac (daha düşük maliyet)
Python

Konsept 2:

BLDC Motor (uzun ömür)
ESC
Samaryum-Kobalt Mıknatıs (0.35 T; 15 mm çap)
Çapraz Şekli Manyetik Balık
Bulanık Mantık (hem vizkozite hem sıcaklığa göre karar)
STM32 (düşük güç tüketimi, dayanıklılık)
LCD
Optik Sensör
DS18B20 (+- 1 °C)
Analog pH Probu (ADC ihtiyacı)
24V 5A Güç Kaynağı
Seramik (kırılgan)
Paslanmaz Çelik
C++

Teknik Gereklilikler

-

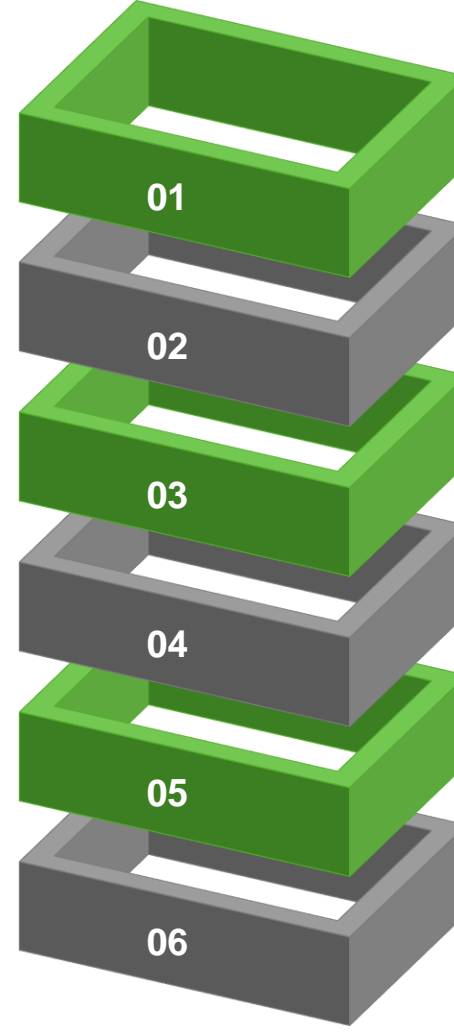
Konsept 1 İçin

Önceki Slaytlarda Detaylı Analizi
Yapılan Mekanik ve Elektronik
Komponentler

PID Controller

Embedded

Pin kontrol - *RPi.GPIO*
PWM sürüş kontrol - *pigpio*
pH sensörü için (gerekirse) ADC -
Adafruit CircuitPython MCP3008



Kullanıcı Arayüzü

GUI - *React*
Demo testing için - *Tkinter framework*

Backend

Python, Flask
Sensör verilerinin işlenmesi - *pandas*
Veri depolanması - *SQLite, MySQL*

Uzaktan İletişim

Raspberry Pi'nin yerleşik Wi-Fi
desteği
Veri raporlama ve görselleştirme -
Plotly

Metodoloji ve Yöntem

Sistemin Matematiksel Modellenmesi

Motor Tork Gereksinimi:

- η = Sıvının Vizkozitesi (Pa*s)
- A = Manyetik Balığın Yüzey Alanı (m²)
- v = Dönme Hızı (m/s)
- T = Motor Tarafından Sağlanması Gereken Tork (N*m)

$$T = \eta \cdot A \cdot v$$

Motorun Güç Gereksinimi:

- T = Motor Tarafından Sağlanması Gereken Tork (N*m)
- ω = Açısal Hız (rad/s)
- P = Motorun Sağlaması Gereken Güç (W)

$$P = T \cdot \omega$$

Metodoloji ve Yöntem

Sistemin Transfer Fonksiyonu

Manyetik Tutma Kuvveti:

- B = Mıknatısın Sağlayabildiği Manyetik Alan (T)
- A = Mıknatısın Yüzey Alanı (m^2)
- μ_0 = Manyetik Geçirgenlik Sabiti ($A \cdot m$)
- F = Manyetik Balığın Motorla Uyumlu Şekilde Pozisyonunu Koruması İçin Gerekli Tutma Kuvveti (N)

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$

Tork Aktarımı (Direnç Torku):

- r = Motor Ucundaki Mıknatıs ve Manyetik Balık Arasındaki Mesafe (m)
- F = Manyetik Balığın Motorla Uyumlu Şekilde Pozisyonunu Koruması İçin Gerekli Tutma Kuvveti (N)
- T_f = Manyetik Balık Üzerinde Oluşan Manyetik Tork ($N \cdot m$)

$$T_{output} = T_f = F \cdot r$$

Transfer Fonksiyonu:

$$\frac{T_{output}(s)}{T_{input}(s)} = \frac{B^2 \cdot A \cdot r}{2 \cdot \mu_0 \cdot \eta \cdot s + B^2 \cdot A}$$

Şartlandırılacak Aralıkların Hesaplanması (η)

RS-550 DC Motor:

- Nominal Gerilim = 12V
- Yüksüz Hızı = 20,400 RPM – Bu yüksek hız, farklı viskozitelerdeki sıvıların etkin bir şekilde karıştırılmasını sağlar.
- Durdurma Torku = 5100 g*cm – Yüksek tork kapasitesi sayesinde motor, daha yoğun sıvılarda veya zorlayıcı karıştırma işlemlerinde performans kaybı yaşamadan çalışabilir.
- Maksimum Verimlilikteki Hızı = 18,217 RPM
- Maksimum Verimlilikteki Torku = 545,69 g*cm = 0.054 N*m

Neodymium Disk Mıknatıs (15 mm Çap):

- B= 0.4 T
- r = Motor Ucundaki Mıknatıs ve Manyetik Balık Arasındaki Mesafe = 1 cm = 0.01 m
- μ_0 = Manyetik Geçirgenlik Sabiti = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ N/A²
- Viskozite Aralığı = $0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s} < \eta < 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0} = 25 \text{ N}$$

$$T_f = F \cdot r = 0.25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\omega = (2 \cdot \pi \cdot 500) / 60 = 52.31 \text{ rad/s}$$

$$T = \eta \cdot A \cdot v$$

$$\text{for } \eta = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s (water)} ;$$

$$T = 8.22 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{for } \eta = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s (glycerin)} ;$$

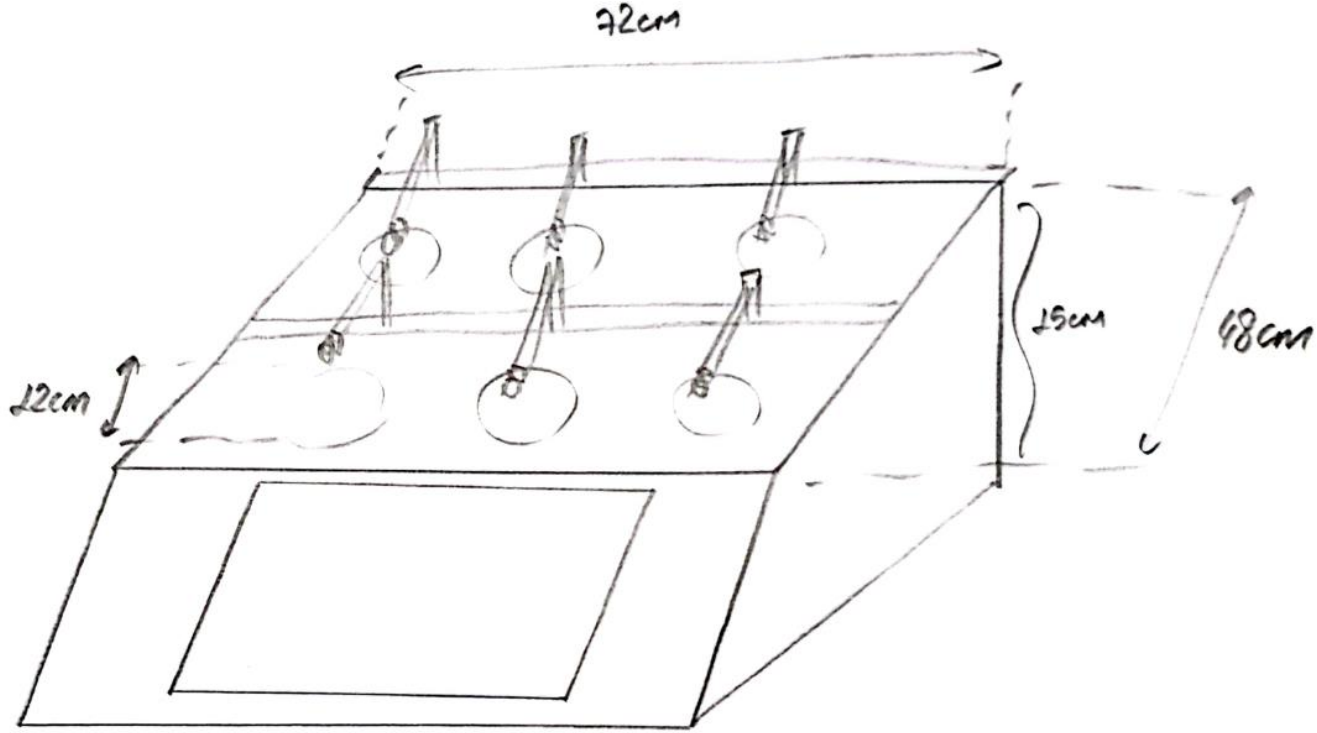
$$T = 8.22 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Şartlandırılacak Aralıkların Hesaplanması (*RPM*)

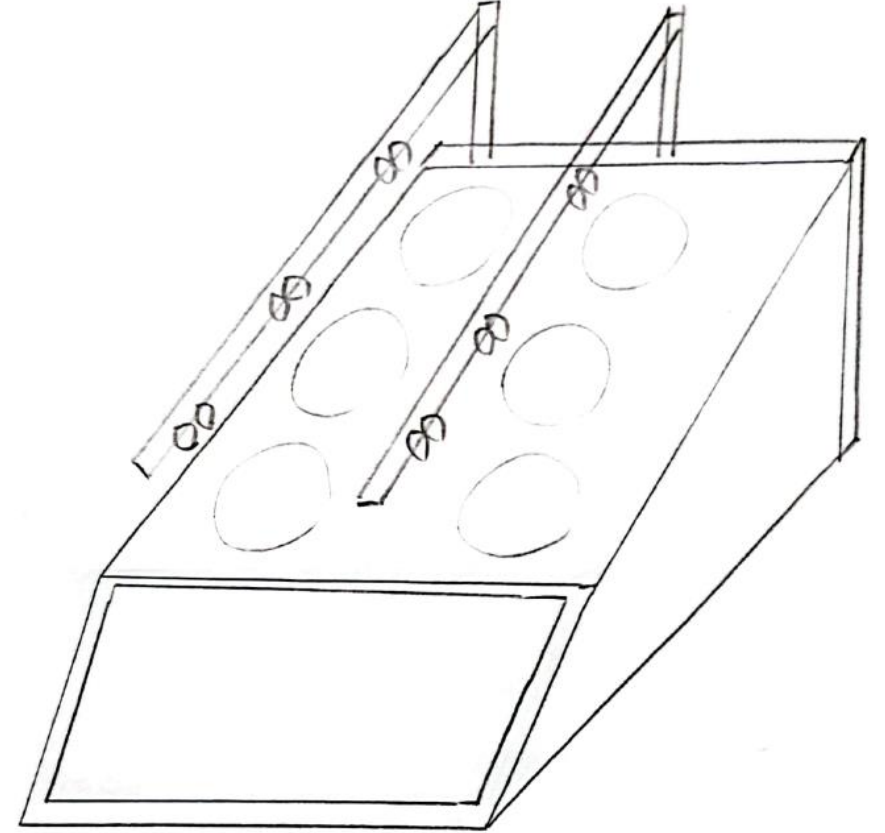
Minimum ve Maksimum RPM Hesabı:

- En düşük hızda dahi motorun ürettiği torkun direnç torkunu aşması gerekecek. Motorun minimum RPM'de yeterli tork üretebilmesi için:
- **Motorun minimum hızda üretebildiği tork değerinin hesaplanacak direnç torkuna eşit veya daha büyük olması gerekecek.**
- En yüksek hızda motorun ürettiği torkun direnç torkunu aşması gerekecek. Motorun minimum RPM'de yeterli tork üretebilmesi için:
- **Motorun maksimum hızda üretebildiği tork değerinin hesaplanacak direnç torkuna eşit veya daha büyük olması gerekecek.**

Konsept Tasarımlar



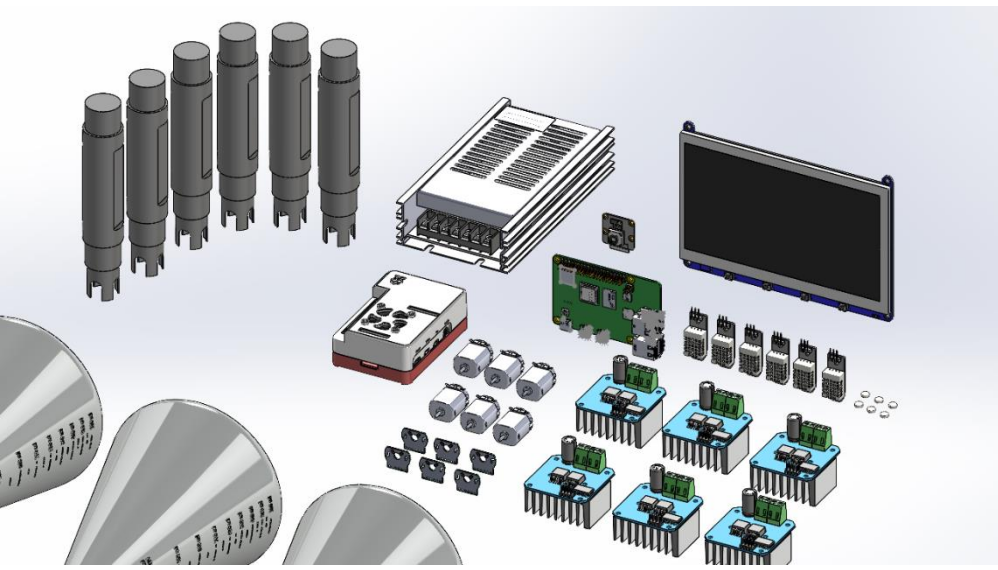
Konsept 1



Konsept 2

L İstasyonların Montaj Zemin
Malzemesi – PTFE seçilecektir.*

Tasarım



Touchscreen Entegrasyonu



Body

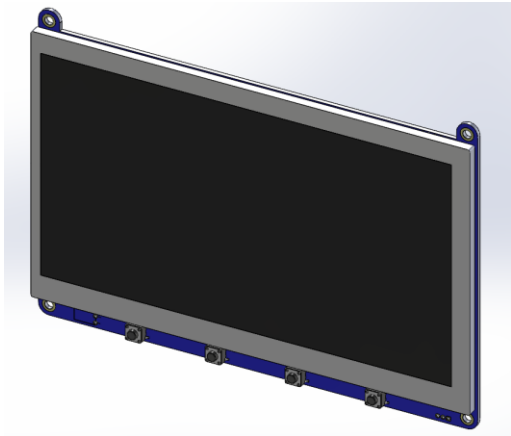
Motorların yuvalarının oluşturulması
Diğer komponentlerin konumlandırılması ve planlanması

Üst Plate

Önde 3, arka paralelinde 3 bölümlük beher/erlenmeyer alanlarının oluşturulması
Sıcaklık ve pH sensörlerinin beherlere/erlenmeyerlere daldırılması için sabit 6 istasyon eklenmesi

Assembly İçin Tüm Parçaların SOLID Partlarının Toplanması

3D Modelleme



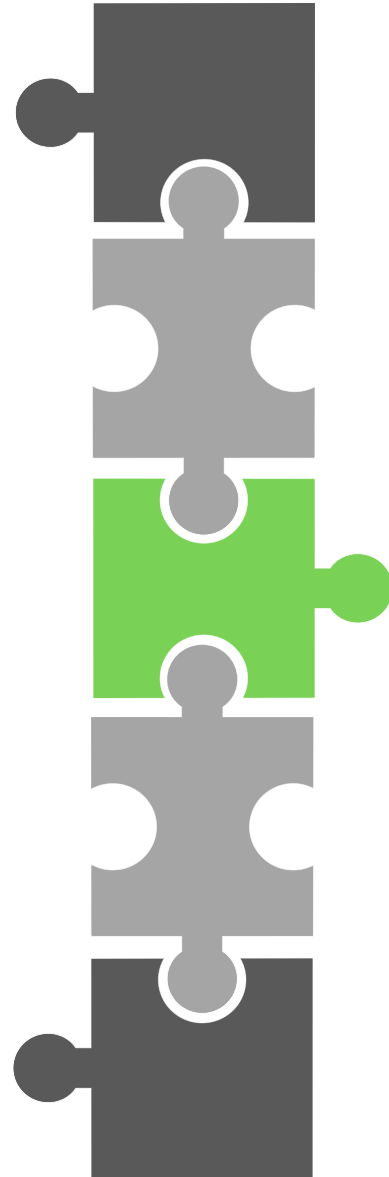
Touchscreen



Plate

02

04

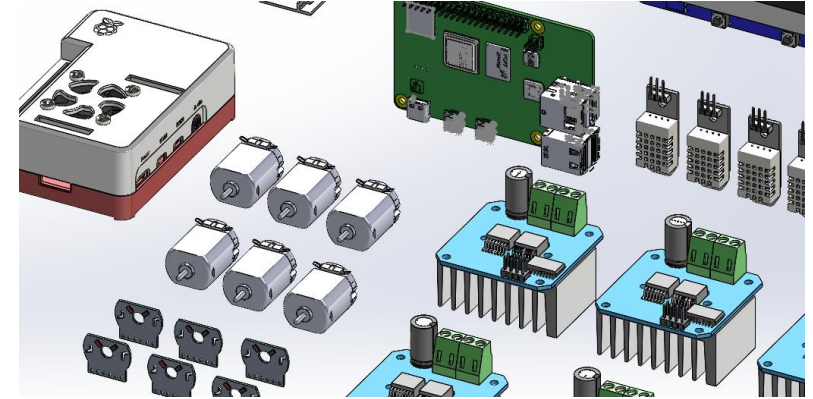


01

03

05

Inner Components



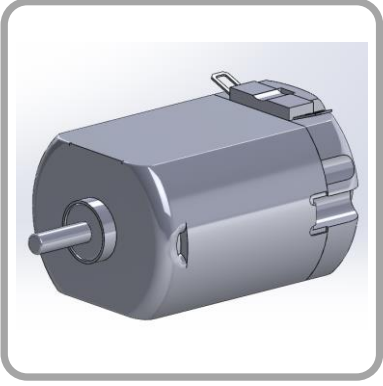
Body



Stations for Sensors



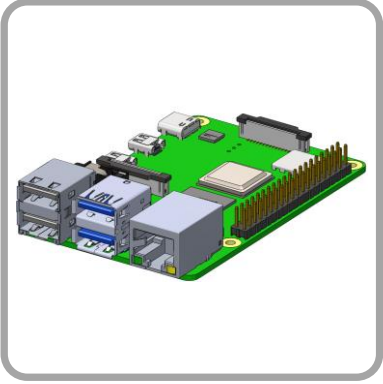
Tasarım Parametreleri



Motor Özellikleri

Detaylı analizi 14. slaytta yapıldı.

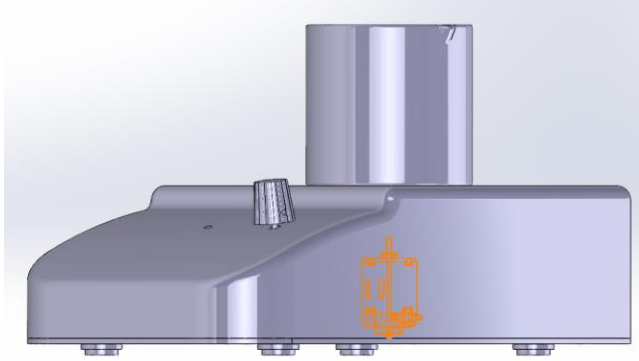
Nominal Gerilim, Yüksüz Hızı, Durdurma Torku, Maksimum Verimlilik Akımı



Mekanik Tasarım Parametreleri

Malzeme – Galvaniz Sac + Elektrostatik Boya

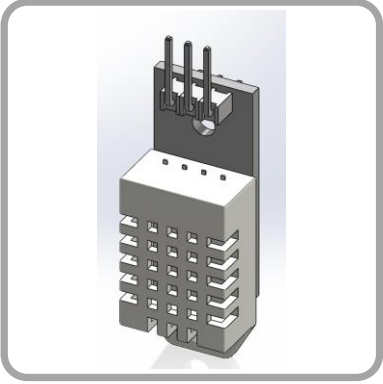
Boyut – Cihaz Derinliği 15 cm, Tabla 72 cm x 48 cm (Erlenmayer Çap 12 cm)



Kontrolcü Özellikleri

Detaylı analizi 15. slaytta yapıldı.

İşlem Hızı, Bellek, GPIO Kullanılabilir Pin Sayısı



Sensör Özellikleri

Detaylı analizi 15. slaytta yapıldı.

Hassasiyet, Çalışma Gerilim Aralığı, Ölçüm Aralığı

Simülasyon ve Analiz (Kullanılacak Araçlar)

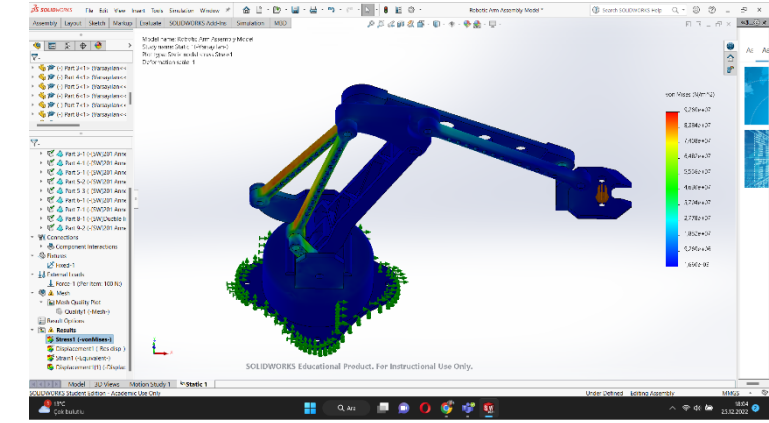
Kp, Ki, Kd Optimization and Simulation

3D Modelling and Strength Analysis for Upper Plate

Electronic Demonstration and PIN Checking

Demo in Virtual Environment

01



02



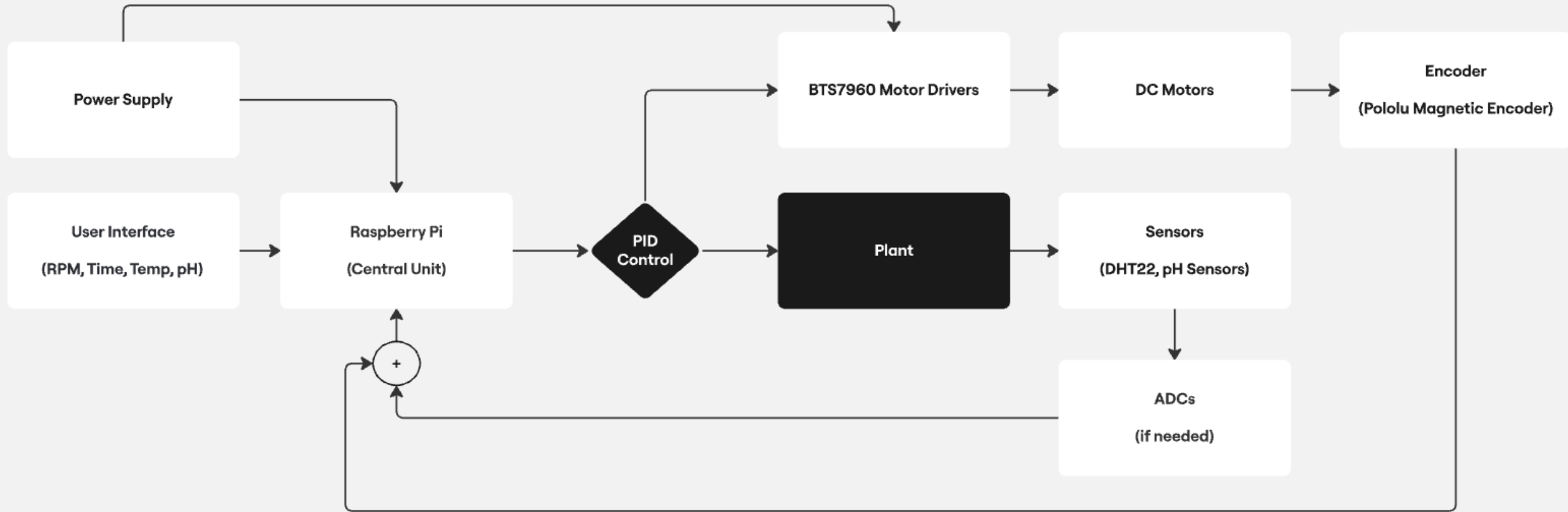
03



04

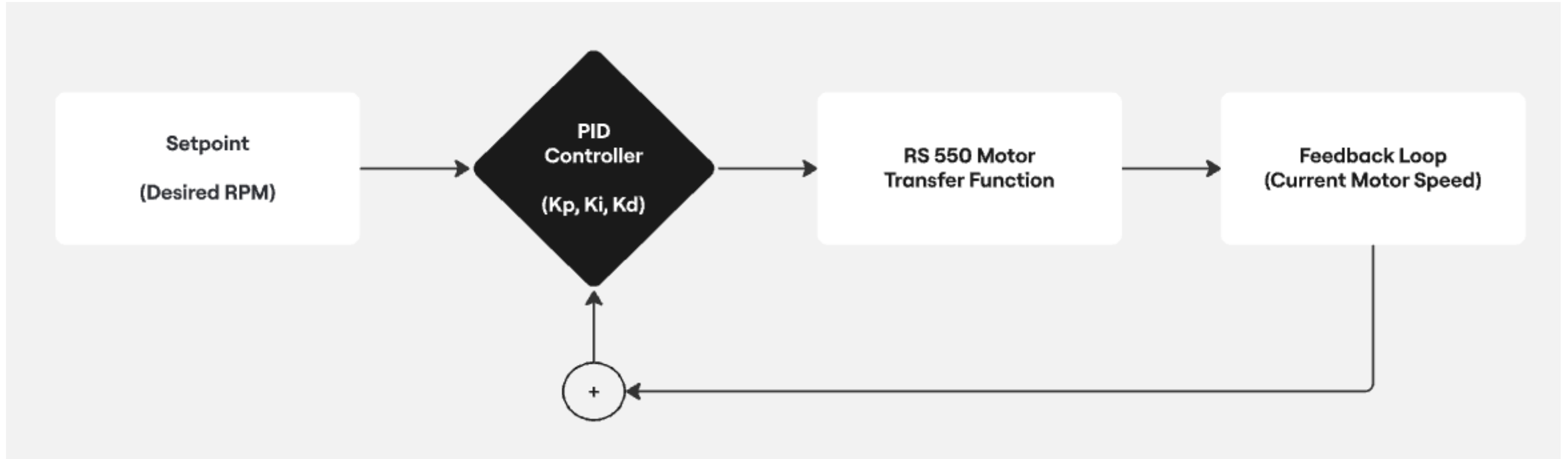


Sistemin Kontrolü



Block Diagram for Overall System

Sistemin Kontrolü



Block Diagram for Motor Part

Kontrolcü Tasarımı

```
% Mabuchi RS550 motorunun sistem parametreleri
J = 5.9e-6; % Rotor atalet momenti (kg·m²), datasheet verisi
B = 1.2e-6; % Sönümlleme katsayısı (N·m·s), tahmini
R = 1.2; % Armatür direnci (Ohm), datasheet verisi
Kt = 0.017; % Motor tork sabiti (N·m/A), datasheet verisi
Kb = 0.017; % Geri EMF sabiti (V·s/rad), datasheet verisi
```

```
% Encoder parametreleri
encoder_cpr = 12; % Pololu encoder Cycles per Revolution değeri
wheel_diameter = 0.025; % Motor bağlı tekerlek çapı (m), datasheet verisi
```

```
% DC motorun transfer fonksiyonu
num = Kt; % Pay (motor tork sabiti)
den = [(J*R) (B*R + J*Kb) (B*Kb + Kt^2)]; % Payda
motor_tf = tf(num, den);
```

RS-550 Motoru için Optimal PID değerleri:

Kp: 0.3000, Ki: 0.0030, Kd: 35.0300

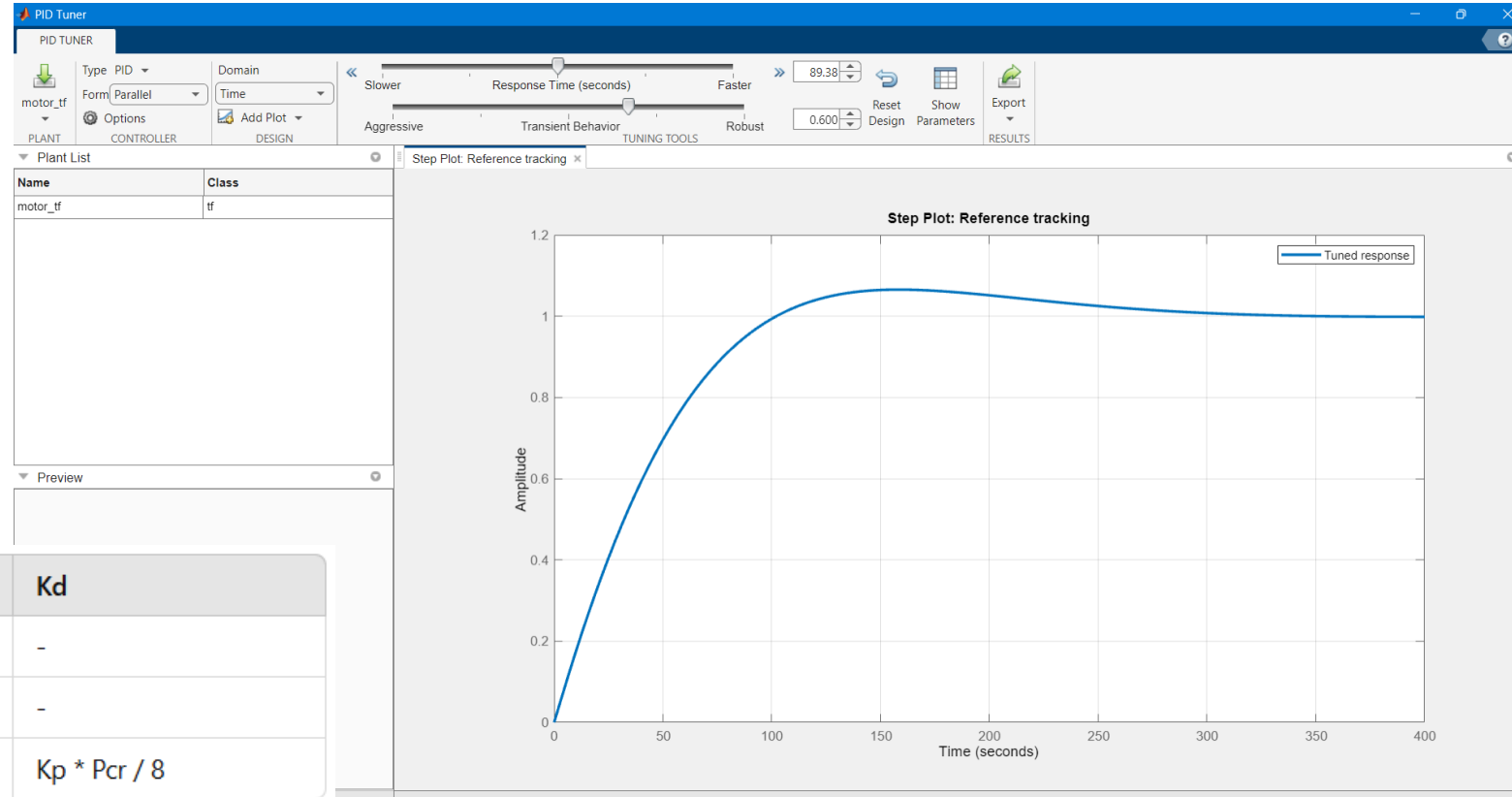
--- RS-550 için PID Denetleyici Performans Metrikleri ---

Yükselme Süresi: 0.0000 saniye

Aşım: 0.00%

Yerleşme Süresi: 0.0000 saniye

Kalıcı Durum Hatası: 0.0001



Ziegler-Nichols Tablosu

Kontrol Tipi	Kp	Ki	Kd
P	0.5 * Kcr	-	-
PI	0.45 * Kcr	1.2 * Kp / Pcr	-
PID	0.6 * Kcr	2 * Kp / Pcr	Kp * Pcr / 8

Olası Sorunlar

Aşırı Isınma Sorunları

Sistem uzun süreli çalışmalarda aşırı ısınma riski taşır. RS-550 motorlarının sürekli çalışması durumunda sıcaklık artışı kontrol dışı olabilir. Soğutma önlemleri ve motor sürücülerin güvenli sınırlar içinde çalışmasını sağlamak önemlidir.

Raspberry için de ısınma problem yaratabileceğinden fanlı case tercih edilecektir.

Elektriksel Parazitler

Sinyal hatlarında oluşabilecek elektriksel parazitler, ölçümlerde hatalara neden olabilir ve motor kontrolünün istikrarını bozabilir. Parazitlerin önlenmesi için uygun topraklama, koruyucu devre elemanları kullanılması veya Faraday kafesi uygulaması yapılması gerekmektedir.

Aynı zamanda motor üzerindeki encoderler doğru hizalama yapılmadan entegre edilirse yanlış geri bildirim yapabilir, body içindeki manyetik alandan etkilenebilirler. Bunu engellemek için optik hız sensörleri tercih edilebilir.



Maaliyet ve Fizibilite Analizi – Konsept 1 İçin

Donanım	Hizmet
Motorlar	Üretim/Atölye Desteği
Sürücüler	
Sensörler	
Kontrolcü + Touchscreen	
Şasi + Tabla Malzemesi	
7000 +/- 1000 ₺	2000 +/- 1000 ₺

Çalışmanın Planı



Kontrol Kodunun Yazılması

Göktuğ Can Şimay



3D Modelleme Simülasyon

Tüm takım



1-5. Hafta

5-8. Hafta

6-9. Hafta

9-13. Hafta

14-15. Hafta



Literatür/Market Taraması ve İhtiyaç/Fonksiyonel Analizlerin Yapılması

Tüm takım



UI ve Uzaktan Kontrolün Yazılması

Ali Doğan



Final Raporun ve Sunumun Hazırlanması

Tüm takım

Öneriler ve Sonuç



- Dozaj pompası veya elektronik pipetler ile çözeltilerin üzerine sistem dışı bir tanktan püskürtme veya damlatma operasyonu eklenebilir.
- Her section plate altında bulunan bakır ısıtıcılar ile bağımsız ısıtılabilir ve sisteme geri bildirilebilir.

Kaynaklar

Ranzani, T., Gerboni, G., Cianchetti, M., & Menciassi, A. (2015). A magnetically controlled soft robotic surgical tool with multiple degrees of freedom. IEEE Transactions on Robotics, 31(4), 715-727. <https://doi.org/10.1109/TRO.2015.2428494>

Smith, B. T., & Wang, H. (2018). PID controller optimization in multimotor laboratory setups: A comparative analysis. International Journal of Control Systems and Robotics, 55(4), 256-267. <https://doi.org/10.1152/IJCSR.2018.04403>

Aoyama, T., Kawakami, N., & Fujii, K. (2013). Temperature feedback control for magnetic stirrer in laboratory applications. Journal of Laboratory Automation, 18(3), 208-214. <https://doi.org/10.1177/2211068212468162>

Kumar, P., Mishra, R., & Das, D. (2020). Automated pH and temperature control system using microcontroller for biotechnology applications. International Journal of Advanced Science and Technology, 29(5), 1743-1755.

Marzouk, A., & ElHady, M. A. (2018). Design and implementation of an advanced magnetic stirrer using microcontroller and PID algorithm. International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(11), 287-295.

Clark, M., & Lynch, J. (2016). Design and control of DC motor-based systems with a focus on real-time feedback loops. Journal of Mechatronics Systems, 45(2), 118-125. <https://doi.org/10.1109/JMS.2016.745301>

Dinlediğiniz
İçin
Teşekkür
Ederiz