**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ÇOK EKSENLİ HAREKET KONTROL UYGULAMALARINDA SÜRÜCÜ BOYUTLANDIRMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Müh. Gökçen BABAOĞLU**

**Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Programı : KONTROL VE OTOMASYON MÜHENDİSLİĞİ**

**OCAK 2007**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# ÇOK EKSENLİ HAREKET KONTROL UYGULAMALARINDA SÜRÜCÜ BOYUTLANDIRMA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**Müh. Gökçen BABAOĞLU**
**(504021107)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2006**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2007**

| | |
|---|---|
| **Tez Danışmanı :** | **Doç.Dr. Salman KURTULAN** |
| **Diğer Jüri Üyeleri** | **Doç.Dr. Deniz YILDIRIM (İ.T.Ü.)** |
| | **Doç. Dr. Berk ÜSTÜNDAĞ (İ.TÜ.)** |

**OCAK 2006**

## ÖNSÖZ

Çok eksenli hareket kontrol uygulamalarında motor ile yük arasındaki sürme sistemlerinin analizi ve bunlardan elde edilen verilerle motor ve sürücü seçimi mühendisler tarafından karşılaşın en önemli sorunlardan biridir. Motor ve sürücü seçimleri için motor üretici firmalarının, sadece kendi ürünleri ile ilgili şeçim programları mevcut olup genel olarak bu seçimlerle ilgili bir kaynak bulunmamaktadır. "Çok Eksenli Hareket Kontrol Uygulamalarında Sürücü Boyutlandırma" konulu tezimin motor ve sürücü seçiminde meslekdaşlarıma yardımcı olacağını ümit ederim.

Bana Kontrol Mühendisliği'ni sevdiren ve yol gösteren Sayın Hocam Doç. Dr. Salman Kurtulan'a, 3 eksenli uygulamamızın mekanik tasarımını ve imalini yapan Sayın Yüksel Şeker'e, servo motor ve sürücülerin temininde bize yardımcı olan Hakan Mavruk, pnömatik malzemeler için Doğan Hacıahmet'e ve bana her konuda desteğini esirgemeyen aileme ve dostlarıma teşekkür ederim.

**Aralık, 2006** **Gökçen BABAOĞLU**

**İÇİNDEKİLER**

**TABLO LİSTESİ** v

**ŞEKİL LİSTESİ** vi

**SEMBOL LİSTESİ** viii
**ÖZET** x
**SUMMARY** xi

**1. GİRİŞ** 1

**2. HAREKET KONTROL SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ** 4
2.1 Mekanik Sistemde Enerji 4
2.2.1 Eylemsizlik Momenti 5
2.2.2 Sürtünme Momenti 7
2.2 Sürme Sistemleri 8
2.2.1 Doğrudan Sürme 8
2.2.2 Döner Hareket 9
2.2.3 Doğrusal Hareket 10
2.2.4 Vidalı Mil Mekanizmalı Hareket 12
2.3 Karmaşık Uygulamalar 16
2.3.1 Kremayer – Pinyon Hareket 16
2.3.2 Tambur Hareket 19
2.3.3 Mil Hareket 21
2.4 Harmonik Sürücü 23
2.5 Yüke Etkiyen F Kuvveti 25
2.6. Hareket Profilinin Hesaplanması 26
2.6.1 Tepe Moment Değerinin Hesaplanması 27
2.6.2 Eylemsizlik Uyumluluğu 28
2.6.3 Etkin Moment (RMS) Değerinin Hesaplanması 32
2.6.4 Kontrollör Seçimi ve Güç Gereksinimleri 32

**3. SIMOTION HAREKET KONTROL SİSTEMİ** 34
3.1 Uygulama Alanları 35
3.2 PLC ve Hareket Kontrolünün Birleşmesi 36
3.3 Sistem Mimarisi 37
3.3.1 Temel işlevsellik 38
3.3.2 Kullanılabilirlik 38
3.3.3 Bütünüyle Tümleşik Otomasyon 39
3.4 Donanım Platformları 40
3.5 SIMOTION SCOUT Mühendislik Hizmeti 41
3.6 Programlama Dilleri 43
3.5.1 MCC ile grafik-tabanlı akış şeması programlama 44
3.5.2 LAD/FBD ile Grafik - Tabanlı Programlama Dili 45
3.5.3 ST Yüksek Seviyeli Dil Programlaması 46

3.7 Yürütme Sistemi, Görevler ve Sistem Döngü Saati 47
3.7.1 Uygulama Seviyeleri /Görevler 47
3.7.2 Başlangıç Durumu 49
3.7.3 Görev Öncelikleri 52
3.7.4 SIMOTION'da Çalışma Modeli 53
3.7.5 Dairesel Denetim Yürütme Seviyesinde Zaman Ataması 54
3.7.6 Zaman Atamasının Kurulması 56
3.8. Teknoloji Paketleri 58
3.8.1 Senkron İşlemler 59
3.8.2 Kam işlemi 63

**4. UYGULAMA 71**

**5. SONUC 76**

**KAYNAKLAR 77**

**ÖZGEÇMİŞ 79**

## TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

**Tablo 2.1.** Malzeme özgül ağırlığı .....7
**Tablo 2.2.** Vidalı mil tiplerin verimleri .....13
**Tablo 2.3.** Vidalı millerin sürtünme katsayıları .....14
**Tablo 3.1.** Görev Önceliklerine Genel Bakış .....52
**Tablo 3.2.** Hareket veya Arkaplan Görevlerine zaman belirleme hesaplarının etkisi57

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**

**Şekil 1.1:** Eksen Hareketleri .....1
**Şekil 1.2:** Hareket kontrol sistemi .....2
**Şekil 2.1:** Dairesel hareket .....5
**Şekil 2.2:** İçi boş silindir .....6
**Şekil 2.3:** Ortak merkezli kompleks parça .....7
**Şekil 2.4:** Konveyör bant sistemi .....8
**Şekil 2.5:** Doğrudan sürme .....9
**Şekil 2.6:** Döner hareket .....9
**Şekil 2.7:** Doğrusal hareket .....11
**Şekil 2.8:** Vidalı mil bağlantı tipleri .....12
**Şekil 2.9:** Vidalı mil mekanizmalı hareket .....13
**Şekil 2.10:** Bir diş üzerindeki yüke uygulanan kuvvetler .....15
**Şekil 2.11:** Yükün yukarı ya da aşağı yönde ilerlemesi .....16
**Şekil 2.12:** Kremayer – Pinyon hareket .....17
**Şekil 2.13:** Tambur hareketi .....19
**Şekil 2.14:** Mil hareket .....21
**Şekil 2.15:** Harmonik sürücünün genel yapısı .....23
**Şekil 2.16:** Harmonik sürücünün çalışma prensibi .....24
**Şekil 2.17:** Yatay hareket .....25
**Şekil 2.18:** Eğik düzlem .....25
**Şekil 2.19:** Hız profili .....26
**Şekil 2.20:** Moment profili .....26
**Şekil 2.21:** Eylemsizlik oranının büyük olduğu durum .....30
**Şekil 2.22:** Eylemsizlik oranının kabul edilebilir değerde olduğu durum .....30
**Şekil 2.23:** Yük/Motor eylemsizliklerinin uyumsuzluğundaki enerji harcanım grafiği .....31
**Şekil 3.1:** PLC ve Hareket Kontrolünün Birleşimi .....36
**Şekil 3.2:** SIMOTION yazılımın yapısı .....37
**Şekil 3.3:** SIMOTION donanım platformları .....40

**Şekil 3.4:** SIMOTION sistemine genel bakış .....42
**Şekil 3.5:** Üretim makinelerini otomasyona uygun hale getirmek için MCC .....44
**Şekil 3.6:** Uygulama sisteminin genel şeması .....48
**Şekil 3.7:** Yürütme seviyelerindeki kullanıcı görevlerine genel bakışı.....51
**Şekil 3.8:** SIMOTION çalışma modeli – genel sıra ve öncelikler .....53
**Şekil 3.9:** Dairesel Denetim yürütme seviyesinde zaman atamasının genel görünüşü .....54
**Şekil 3.10:** Scout programındaki görev konfigürasyonu .....56
**Şekil 3.11:** Dairesel Denetimde görev yürütmenin basitleştirilmiş sunumu .....57
**Şekil 3.12:** İki zaman dilimli Arkaplan Görevi için kronolojik sıra .....58
**Şekil 3.13:** Dişli çarklar sisteminde nesne.....60
**Şekil 3.14:** Kamda nesne .....61
**Şekil 3.15 :** Çeşitli ana değeri ile senkron nesnesi.....62
**Şekil 3.16:** Çeşitli Kamlar ile Dişli Çark Sistemine Örnek .....62
**Şekil 3.17:** Üst üste senkron operasyon örneği.....63
**Şekil 3.18:** Kam işlemi için cevap karakteristiği .....64
**Şekil 3.19:** Çevrimsel olmayan kam uygulaması.....64
**Şekil 3.20:** Çevrimsel kam uygulaması.....65
**Şekil 3.21:** Aynı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması .....65
**Şekil 3.22**: Farklı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması-Mutlak .....66
**Şekil 3.23:** Aynı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması .....66
**Şekil 3.24:** Farklı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması-Bağıl.66
**Şekil 3.25:** Artı kam uygulaması.....67
**Şekil 3.26:** Eksi kam uygulaması.....67
**Şekil 3.27:** Ana ve uydu modları mutlak.....68
**Şekil 3.28:** Ana mod bağıl, uydu mod mutlak .....69
**Şekil 3.29:** Ana mod mutlak, uydu mod bağıl .....69
**Şekil 3.30:** Ana ve uydu modları bağıl.....69
**Şekil 3.31:** Kam işlemi için geçiş adımları.....70
**Şekil 4.1:** Üç eksenli sistem.....71
**Şekil 4.2:** Üç eksenli boya püskürtme makinesi .....72

## SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $D_b$ | : Vidalı mil çapı |
| **dm** | : Kütle elemanı |
| **f** | : Mekanik bükülme rezonansı frekansı |
| **F** | : Kuvvet |
| $F_{dikey}$ | : Dikey yönde uygulanan kuvvet |
| $F_{sür}$ | : Sürtünme kuvveti |
| $F_{yatay}$ | : Yatay yönde uygulanan kuvvet |
| **G** | : Kütle ağırlığı |
| **g** | : Yerçekimi ivmesi |
| **h** | : Vida adımı |
| $I_{ivm}$ | : İvmelenme akımı |
| $I_{etkin}$ | : Etkin akım |
| **J** | : Eylemsizlik momenti |
| $J_{dogrusal}$ | : Yükün hareketinden dolayı oluşan eylemsizlik momenti |
| $J_{kasnak}$ | : Kasnaktaki eylemsizlik momenti |
| $J_{kremayer}$ | : Kremayerdeki eylemsizlik momenti |
| $J_m$ | : Motor eylemsizlik momenti |
| $J_y$ | : Yük eylemsizlik momenti |
| $J_{md}$ | : Motor tarafındaki dişli eylemsizlik momenti |
| $J_{pinyon}$ | : Pinyondaki eylemsizlik momenti |
| $J_t$ | : Toplam eylemsizlik momenti |
| $J_{yd}$ | : Yük tarafındaki dişli eylemsizlik momenti |
| $J_{ym}$ | : Motor miline indirgenmiş yük eylemsizlik momenti |
| $J_{vida}$ | : Vidalı mil sisteminin eylemsizlik momenti |
| $J_{x_ind}$ | : x eksenindeki motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti |
| $J_{x_yük}$ | : x eksenindeki yükün eylemsizlik momenti |
| $J_{y_ind}$ | : x eksenindeki motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti |
| $J_{y_yük}$ | : x eksenindeki yükün eylemsizlik momenti |
| $J_{z_ind}$ | : x eksenindeki motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti |
| $J_{z_yük}$ | : x eksenindeki yükün eylemsizlik momenti |
| **K** | : İletim katılığı |
| $K_t$ | : Moment katsayısı |
| **l** | : Silindir uzunluğu |
| **m** | : Kütle |
| $m_x$ | : x eksenindeki yük miktarı |
| $m_y$ | : y eksenindeki yük miktarı |
| $m_z$ | : z eksenindeki yük miktarı |
| $M_{etkin}$ | : Etkin moment |
| $M_{ivm}$ | : İvmelenme momenti |
| $M_m$ | : Motor momenti |
| $M_y$ | : Yük momenti, y eksenindeki yük momenti |
| $M_{ym}$ | : Motor miline indirgenmiş yük momenti |

$\mathbf{M_x}$ : x eksenindeki yük momenti
$\mathbf{M_z}$ : z eksenindeki yük momenti
**n** : Motor devri
**N** : Normal kuvvet
**P** : Güç
$\mathbf{P_{srt}}$ : Sürtünmeden dolayı kaybolan güç
**r** : Dönme ekseni uzunluğu
$\mathbf{r_1}$ : Silindir iç yarıçapı
$\mathbf{r_2}$ : Silindir dış yarıçapı
$\mathbf{r_b}$ : Vida mil yarıçapı
$\mathbf{r_{kremayer}}$ : Kremayer mil yarıçapı
$\mathbf{r_{pinyon}}$ : Pinyon yarıçapı
$\mathbf{R_m}$ : Motor direnci
**S** : Silindir dairesinin çevresi
$\mathbf{t_{ivm}}$ : İvmelenme süresi
$\mathbf{t_{yav}}$ : Yavaşlama süresi
$\mathbf{t_{cal}}$ : Sabit hızda çalışma süresi
$\mathbf{t_{durma}}$ : Durma süresi
**ü** : Dişli oranı
**v** : Çizgisel hız
$\mathbf{v_y}$ : Yüküm çizgisel hızı
**W** : Yapılan iş
**ΔS** : Doğrusal eksende alınan yol
$\alpha$ : Açısal ivme
$\alpha_m$ : Motor açısal ivme
$\alpha_y$ : Yük açısal ivme
$\beta$ : Vidalı mildeki bir dişin dönme açısı
$\eta$ : Verim
$\varphi$ : Yol (derece)
$\mu$ : Sürtünme katsayısı
$\mu_b$ : Vidalı mil sürtünme katsayısı
$\theta$ : Yol (radyan)
$d\theta$ : Yer değiştirme
$\rho$ : Yoğunluk
$\omega$ : Açısal hız
$\omega_m$ : Motor açısal hızı
$\omega_y$ : Yük açısal hızı

## ÇOK EKSENLİ HAREKET KONTROL UYGULAMALARINDA SÜRÜCÜ BOYUTLANDIRMA

## ÖZET

Bu çalışmada çok eksenli hareket kontrol uygulamalarında motor ve sürücü seçiminde mekanik sistem elemanların etkilerinin nasıl olacağı anlatılmıştır. Hareket kontrolü; değişken açılı hareketi içine alan uygulamalar dizisini tanımlamak için kullanılan bir endüstri terimidir. Çoğu hareket kontrol uygulamaları; hızlanma, yavaşlama veya hareketin hızı konularına sınırlı seviyede dikkat eder ve sadece bir cismin bir yerden bir başka yere taşınmasını ele alır. Makina takım uygulamalarında ise çok sayıda eş zamanlı hareketin üst seviye koordinasyonu gibi özelliklerin de arasında bulunduğu, hareketin her cephesini ele alırlar.

Mekanik sistemlerin analizinde önce yükün sürtünme ve eylemsizlik etkileri, daha sonra yük momentleri belirlenir. Bu çalışmada da hareket ve konumlama sağlayan dört temel sürme sistemi ele alındı ve bu sistemlerle ilgili eylemsizlik, sürtünme, ivmelenme ve yük moment bağıntıları enerji ve güç eşitliklerinden faydalanarak elde edildi. İkinci adım olarak elde edilen bağıntılarla hesaplanan motor moment değeri ile motor, motor gücü ile de sürücü seçimi yapıldı. Motor ve sürücü seçimi sırasında motor hareketindeki salınımlara bağlı aşımları ve titreşimleri etkileyen yük ile motor arasındaki eylemsizlik oranı özel olarak incelenmiştir. Motor ısınma koşuluna ilişkin ısıl dengeyi belirlemek için etkin moment değeri belirlenmiştir.

Elde edilen bağıntıların yardımıyle X, Y ve Z koordinatlarında hareket eden üç eksenli mekanik sistem için eylemsizlik ve moment hesaplamaları yapılıp sistem için gerekli motor ve sürücüler seçilmiştir. Siemens'in Simotion Hareket Kontrollörü ve programı kullanılarak üç eksenin kontrolü gerçeklenmiştir.

## CALCULATING DRIVE OF MULTI AXES MOTION CONTROLLER APPLICATION

## SUMMARY

In this essay the effect of the mechanical system elements in selecting motors and drivers in multi axis movement will be examined. Motion control is an industry term used to describe a range of applications that involve movement with varying degrees of precision. Many motion control applications require only that an object be moved from one place to another with limited concern for acceleration, deceleration, or speed of motion. On the opposite extreme there are machine tool applications which require the precise coordination of all aspects of motion, including a high degree of coordination for multiple simultaneous movements.

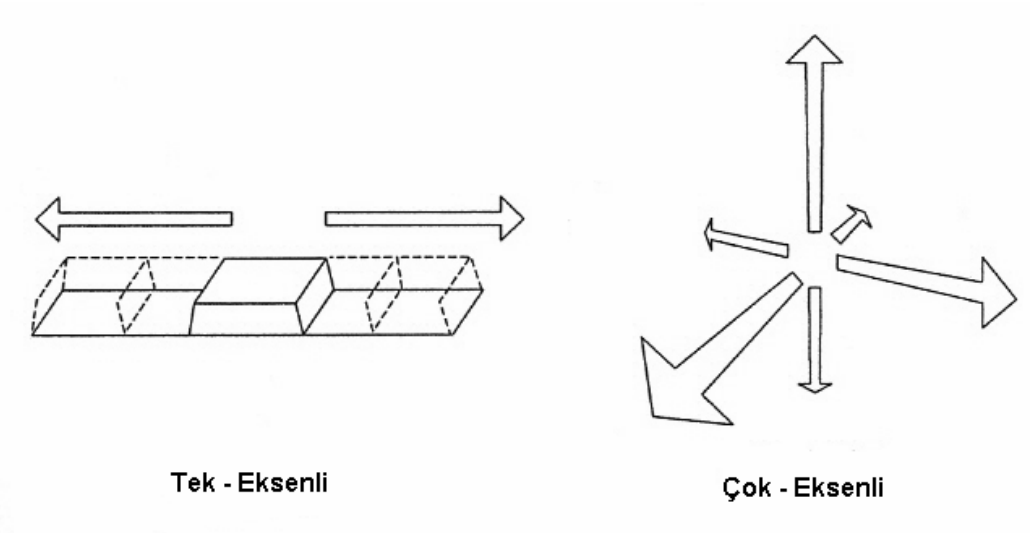
In the process of analyzing mechanical systems, the friction of the load and the effect of inertia is calculated at first and then the momentum is defined. In this study, four basic drive systems that involve motion and positioning have been investigated and inertia, friction, acceleration and load momentum relations of these systems are calculated using energy and power equations. As the next step, using the relations the motor has been selected according to the calculated momentum value of the motor and the driver has been selected according to the power of the motor. In the process of choosing the motor and the driver, the percentage of inertia between the load and the motor that affects the oscillation and the vibration bound to the motion of the motor has been specially examined. The effective momentum value is defined to calculate the thermal balance related to the motor heating up condition.

The necessary motor and the driver has been chosen by calculating the inertia and momentum of the mechanical system, that can move on X,Y and Z axis, with the help of the equations. The control of the three axis has been realized by using Siemens Simotion Motion Contoller and programme.

# 1. GİRİŞ

Hareket kontrol dünyasında motorlardan konumlandırıcı kontrollerine kadar çeşitli cihazlar bulunmaktadır. Endüstrilerde üretim gereksinimleri daha hızlı, verimli ve etkili üretimleri gerekli kılmaktadır. Makineler bu gereksinimi karşılamak için analiz edilip güncellenmektedir. Tekrar edilen görevler kendiliğinden yapılması sağlanarak doğruluğu ve üretim kapasitesi artırılmaya çalışılmaktadır.

Hareket kontrolü; değişken açılı hareketleri içine alan uygulamalar dizisini tanımlamak için kullanılan bir endüstri terimidir. Çoğu hareket kontrol uygulamaları; hızlanma, yavaşlama veya hareketin hızı konularına sınırlı seviyede dikkat eder ve sadece bir cismin bir yerden bir başka yere taşınmasını ele alır. Makine takım uygulamalarında ise çok sayıda eş zamanlı hareketin üst seviye koordinasyonu gibi özelliklerin de arasında bulunduğu, hareketin her cephesini ele alırlar.

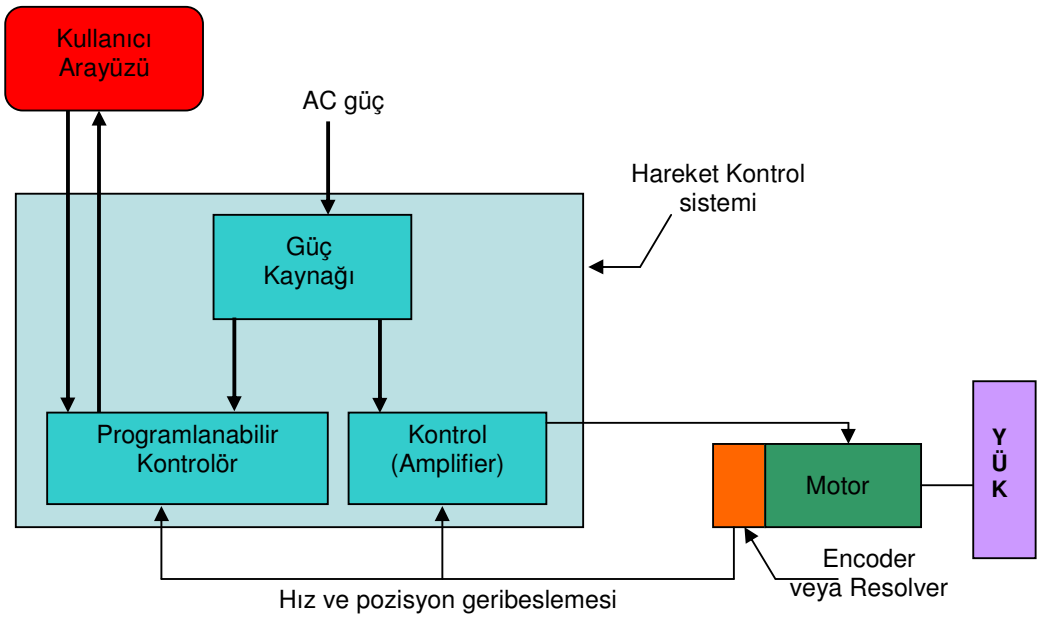



**Şekil 1.1:** Eksen Hareketleri

Tek eksenli hareket, bir eksendeki döngüsel kontrolü içerir. Bu tipik bir ileri ya da geri yönde çalışabilen motor şaftına karşılık gelir. Mekanizmalar ise çoğunlukla döngüsel hareketi düzlemsel harekete dönüştürmeye yarar. Çoklu-eksen kontrolü, her biri ayrı düzlemsel hareketlere dönüştürülebilen birden çok döngüsel hareketin kontrolünü kapsar. Bazı uygulamalar her ekseni bağımsız hareket edebilen çok

sayıda eksenin kontrolünü gerektirirken bazı uygulamalarda ise çok sayıda eksen için değişen oranlarda koordinasyonu gerektirir. Bu koordinasyonlar farklı eksenlerde hareketlerin başlangıçlarını eş zamanlı hale getirmekten, makine araç uygulamaları için gereken çoklu eksenlerin üst seviye koordinasyonuna kadar değişebilir.

Bir hareket kontrol paketi seçerken, yükün çabuk ve yüksek doğrulukla konumlandırılması gerektiğinden ötürü yük önem kazanmaktadır. Yük bilindiği takdirde, moment bilinebilir ve gereken momenti sağlayacak motor seçimi yapılabilir. Son olarak motoru hareket ettiren gücü sağlayacak olan kontrol ve makinenin yükü belirlenebilir.




**Şekil 1.2:** Hareket kontrol sistemi

Şekil1.2'de temel hareket kontrol sistemi gösterilmektedir. Yük ikinci bölümde bahsedilen mekanik sistemlerden biri ile motora bağlıdır.

Motor servo, vektör, veya fırçasız servo motor olabilir. Motorun kalkışını, duruşunu ve hızını ayarlamak, düşük seviyeli bir kontrol sinyalini alıp bunu güçlendirerek daha yüksek seviyeye çıkarmak kontrol ünitesinin görevidir.

Programlanabilen hareket kontrolörü, hareket sisteminin beynidir ve motor kontrolünü denetler. Hareket kontrolörü belirli bir görevi yerine getirmek için programlanmıştır. Bu kontrolör yükün pozisyonunu takip etmek için bir geribesleme sinyali alır. Aldığı pozisyon geribesleme sinyalini, daha önceden belirlenmiş ve

sisteme tanıtılmış arzu edilen pozisyonlarla karşılaştırarak; gerçekleşen ile arzu edilen pozisyonlar arasındaki hatayı en aza indirgemeye çalışır [1, 10].

## 2. HAREKET KONTROL SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ

Bir elektrikli tahrik bir iş makinesinden, onu çalıştıran elektrik motorundan, gücü motordan iş makinesine ileten aktarma öğelerinden ve motorun besleme, koruma, kumanda veya denetim düzenlerinden oluşan bir sistemdir [3].

Bir elektrik motorunun üretmesi gereken mekanik enerjinin ve gücün belirlenmesi için, iş makinesi için gerekli olan mekanik enerji ve gücün bilinmesi gerekir.

### 2.1 Mekanik Sistemde Enerji

Bir F kuvvetinin etkisiyle, bir cismin belirli bir eksende $d\theta$ kadar yer değiştirmesi durumunda fiziksel anlamda yapılan iş

$$W = \int F \cdot r \cdot d\theta \qquad \textbf{(2.1)}$$

Dairesel hareket için moment $M_m = F \cdot r$ ve açısal hız $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ tanımları (2.1) bağıntısında kullanılırsa yapılan iş

$$W = \int F \cdot r \cdot d\theta = \int M_m \cdot d\theta = \int M_m \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot dt = \int M_m \cdot \omega \cdot dt \qquad \textbf{(2.2)}$$

Dönme hareketinde motor momenti için

$$M_m = M_y + J \cdot \frac{d\omega}{dt} \qquad \textbf{(2.3)}$$

yazılabilir. (2.3)'deki ifade (2.2)'de kullanılırsa dönme hareketine ilişkin enerji ifadesi

$$\begin{aligned} W &= \int_0^t (M_y + J \cdot \frac{d\omega}{dt}) \cdot \omega \cdot dt = \int_0^t M_y \cdot \omega \cdot dt + J \cdot \int_0^w \omega . d\omega \\ W &= \int_0^t M_y \cdot \omega \cdot dt + \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \end{aligned} \qquad \textbf{(2.4)}$$

Dönme hareketine ilişkin enerji ifadesinin ilk terimi iş yapmak için gerekli olan enerji, son terimi ise t zamanında sistemde biriken kinetik enerjidir.

Enerjinin zamana göre değişimi olan güç ifadesi

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \cdot (\int M_y \cdot \omega \cdot dt + \frac{1}{2} J \cdot \omega^2) = M_y \cdot \omega + \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2} J \cdot \omega^2\right) \quad \textbf{(2.5)}$$

Elde edilen güç, $M_y$ momentine sahip sistemi w açısal hızıyla hareket ettirmekte ve aynı zamanda sistemdeki kinetik enerjinin zamana göre değişimini karşılamaktadır [3, 9].

### 2.2 Eylemsizlik Momenti ve Sürtünme Momenti

Hareket kontrol sistemlerinde ihtiyaçların belirlenmesindeki ilk adım yükün konumuna göre mekanik analizini – sürtünme ve eylemsizliği de içeren- yapmaktır. Yük sürtünmesi, ya tahminle ya da döndürme momentinin ölçülmesi ile belirlenir. Mekanik bağlantı sisteminin analizinde denklemler motor miline indirgenmiş yük parametrelerini gösterir. Motor ve kontroller seçimi için motorun ne 'gördüğünün' belirlenmesi gereklidir [3, 4].

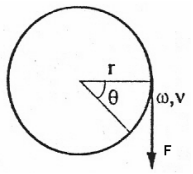
#### 2.2.1 Eylemsizlik Momenti

Dinamiğin temel yasasının uygulanmasında, dönen cisimlerin hareket enerjisinin hesaplanmasında ve diğer birçok problemin çözümünde eylemsizlik momentinden yararlanır. Eylemsizlik momenti, bir cismin hız değişimine karşı gösterdiği dirençtir ve hareket ettirilecek mekanik bağlantı sisteminin analizi ile hesaplanır [1, 9-10].

Belirli bir eksene göre dönme hareketi yapan bir cismin eylemsizlik momenti;

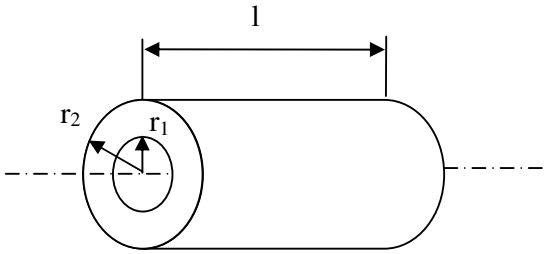
$$J = \int r^2 \cdot dm \quad \textbf{(2.6)}$$

(2.6) formülündeki r, dm kütle elemanının dönme eksenine uzaklığıdır.




**Şekil 2.1:** Dairesel hareket

(2.6)'deki bağıntıdan faydalanarak bir silindirin eylemsizlik momentini, ağırlığına ve yarıçapına veya özgül ağırlığına, yarıçapına ve uzunluğuna bağlı olarak hesaplanabilir.




**Şekil 2.2:** İçi boş silindir

Özgül kütlesi ρ, uzunluğu *l*, iç yarıçapı $r_1$, dış yarıçapı $r_2$ olan homojen bir silindir için;

$$dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr \qquad \textbf{(2.7)}$$

Eylemsizlik momenti;

$$J = \int_0^m r^2 \cdot \rho \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \cdot dr = 2\pi \cdot \rho \cdot l \int_{r_1}^{r_2} r^3 \cdot dr = \frac{1}{2}\pi \cdot \rho \cdot l \cdot (r_2^4 - r_1^4) \qquad \textbf{(2.8)}$$

- İçi boş silindir için

Özgül ağırlık, yarıçap ve uzunluğa bağlı olarak;

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot l \cdot \rho\left(r_1^4 - r_2^4\right) \qquad \textbf{(2.9)}$$

Ağırlık ve yarıçapa bağlı olarak;

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(r_1^2 + r_2^2\right) \qquad \textbf{(2.10)}$$

- Katı silindir için ($r_1$=0, $r_2$=r)

Özgül ağırlık, yarıçap ve uzunluğa bağlı olarak;

$$J = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot l \cdot \rho \cdot r^4}{g} \qquad \textbf{(2.11)}$$

Ağırlık ve yarıçapa bağlı olarak;

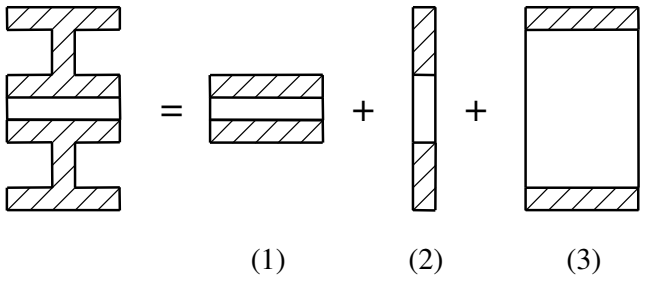
$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \qquad \textbf{(2.12)}$$

**Tablo 2.1:** Malzeme özgül ağırlığı

| **Malzeme** | **Özgül Ağırlık (g/cm$^3$)** |
|---|---|
| Alüminyum | 0,2657 |
| Bakır | 0,891 |
| Plastik | 0,1107 |
| Çelik | 0,77503 |
| Ağaç | 0,080 |

Bu eşitlikler sayesinde makine parçaların eylemsizlikleri hesaplanabilir. Ortak merkezli kompleks dönen parçanın eylemsizlik hesabı, parçanın basit silindir parçalarına ayrılması ve her bir parçanın eylemsizliğinin ayrı ayrı hesaplanması sonucu elde edilir [11].

$$J_T = J_1 + J_2 + J_3 \qquad \textbf{(2.13)}$$



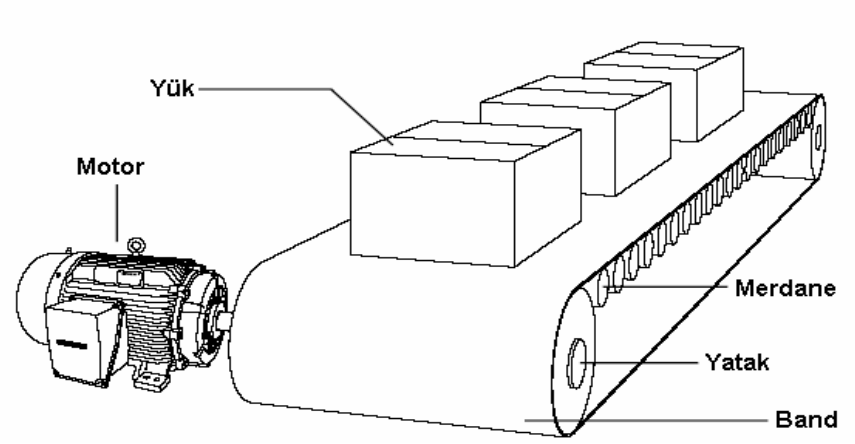

**Şekil 2.3:** Ortak merkezli kompleks parça

### 2.2.2 Sürtünme Momenti

Birbirlerine karşı çalışan mekanik ekipmanların aralarındaki teması kaldırılmak için gerekli olan moment değeridir. Sürtünme momenti hızdan bağımsızdır. Hesaplanabileceği gibi sürülecek şafta bağlanan bir moment ölçer ile de ölçülebilir.

Şekil 2.4'de konveyör bandını süren motor sistemi görülmektedir. Sisteme, durağan halden harekete geçişi sırasında eylemsizlik momentini yenmesi için büyük değerde

güç uygulanmaktadır. Sistem bir kez harekete geçtikten sonra enerji sadece çeşitli kayıpları kompanze ederek hareketin devamlılığını sağlamak için uygulanır [16].




**Şekil 2.4:** Konveyör bant sistemi

Bu kayıpların kapsamı :

- Motor ve sürme ekipmanlarının yataklamalarındaki sürtünme,
- Motor ve sürme ekipmanların "windage" kayıpları,
- Konveyör bandı ve merdaneler arasındaki sürtünme'dir [16].

## 2.2 Sürme Sistemleri

Makine dizaynlarında makine elemanlarının hareketini ve konumlamasını sağlamak için ya mekanik ya da elektromekanik kontrol sistemleri kullanılır. Bu tip sistemler doğrudan sürme, döner hareket, teğetsel hareket, vidalı mil mekanizmalı hareket şeklindeki dört temel hareket dizaynından biri olarak sınıflandırılırlar [6, 10].

### 2.2.1 Doğrudan Sürme

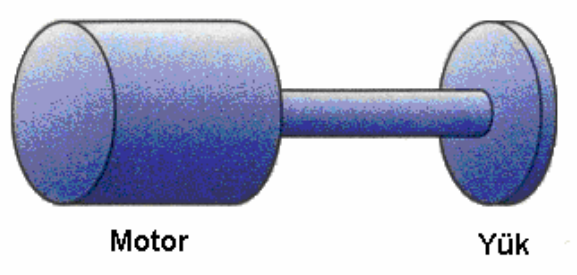
Herhangi bir eylemsizlik etkisi yaratacak mekanik sistemler içermez; hareket doğrudan iletilir. Motor hızı ile yük hızı aynı olur. Yük sürtünmesi direkt motor sürtünmesine karşılık gelir. Toplam eylemsizlik yük ve motor eylemsizliklerin toplamına eşittir (Şekil 2.5). Motorun ürettiği mekanik enerjinin tamamı yükte harcanır [1,10].

Dönme hareketi için gerekli olan güç eşitliğinden motor milindeki yük momenti hesaplanırsa;

$$M_{ym} \cdot \omega_m = M_y \cdot \omega_y \qquad \textbf{(2.14)}$$

$$\omega_m = \omega_y \qquad \rightarrow M_{ym} = M_y \qquad \textbf{(2.15)}$$

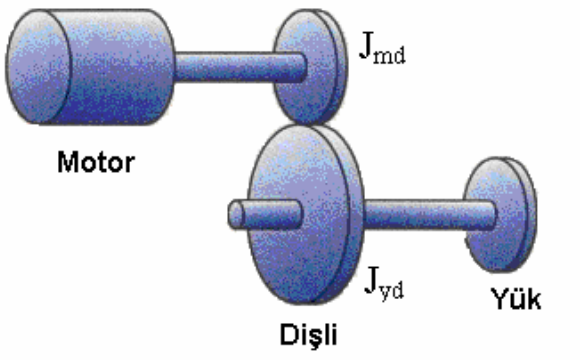
$$J_t = J_y + J_m \qquad \textbf{(2.16)}$$




**Şekil 2.5:** Doğrudan sürme

### 2.2.2 Döner Hareket

Motor ile yük arasında dişli mekanizma içeren sistemdir. Hız değişimi olan sistemlerde, yük eylemsizlik momentinin motor miline indirgenmesinde çevrim oranının karesi etkili olur.




**Şekil 2.6:** Döner hareket

Dişli mekanizmanın çevrim oranı;

$$ü = \frac{\omega_m}{\omega_y} \qquad \textbf{(2.17)}$$

Güç eşitliğinden motor milindeki yük momenti hesaplanırsa;

$$M_{ym} \cdot \omega_m \cdot \eta = M_y \cdot \omega_y \rightarrow M_{ym} = M_y \cdot \frac{\omega_y}{\omega_m \cdot \eta} = M_y \cdot \frac{1}{ü \cdot \eta} \quad \textbf{(2.18)}$$

Motor tarafındaki kinetik enerjinin yük tarafında biriken kinetik enerjiye eşit olması gerekliliğinden yararlanarak motor miline indirgenmiş yük eylemsizlik momenti;

$$\frac{1}{2} J_{ym} \cdot \omega_m^{\,2} = \frac{1}{2} J_y \cdot \omega_y^{\,2} \qquad \rightarrow J_{ym} = \frac{\omega_y^{\,2}}{\omega_m^{\,2}} \cdot J_y = J_y \cdot \frac{1}{ü^2} \quad \textbf{(2.19)}$$

Toplam eylemsizlik momenti hatasız bulunmak istenirse dişlilerin de eylemsizlik momenti hesaba katılmalıdır. Dişli eylemsizlik değeri ya katalogdan bulunur ya da silindir eylemsizlik formüllerinden faydalanarak hesaplanır. Moment hesaplarında da dişli mekanizması verimi etki ettirilmelidir.

Toplam motor eylemsizlik momenti :

$$J_t = J_m + \frac{J_y + J_{yd}}{ü^2} + J_{md} \quad \textbf{(2.20)}$$

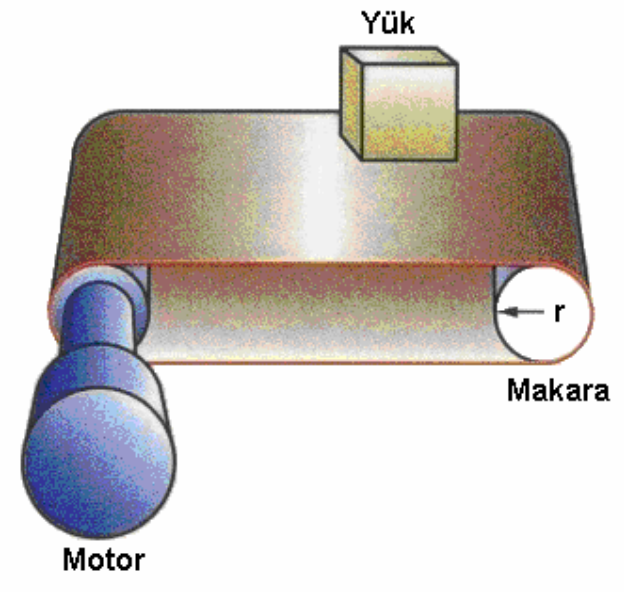
Dişli kavramlarda bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir;

- Kullanılacak dişli belirtilen standartlar sınıfında olmalıdır
- Boşluk ayarı dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Genel olarak boşluk çok az ise yüksek hızda çalışma durumunda gürültü oluşur. Aynı şekilde boşluk biraz büyük olduğu durumda ivmelenme ve yavaşlama esnasında dişli yüzeylerinde vurma sesi oluşur [14].

### 2.2.3 Doğrusal Hareket

Kayış-kasnak, zincir, kremayer-pinyon mekanizmalarını içerir.

**Kayış-kasnak mekanizmaları**, vidalı mil mekanizmalarına göre daha yüksek hızlara çıkabilir. Daha hafif olmalarına rağmen, bir miktar esneyebilmelerinden ötürü geriye doğru ani hareket yapma problemlerine yol açabilirler. Çalışma esnasında her zaman belli bir gerginlikte olmalarından dolayı makinenin tasarımında gergiyi daima koruyacak alt yapının olmasına dikkat edilmelidir [1, 5, 14].




**Şekil 2.7:** Doğrusal hareket

r yarıçaplı kasnak etrafında dönen kayışın üzerinde hareket eden cismin hızı;

$$v_y = \omega_m \cdot 2\pi \cdot r \qquad \textbf{(2.21)}$$

Motor milindeki toplam moment

$$M_{ym} = M_y + M_{ivm} \qquad \textbf{(2.22)}$$

(2.22) bağıntısındaki ilk terim yüke uygulanan direnç momenti (karşı moment), ikinci terim ise yükün döndürme momentini ifade eder.

Motor tarafındaki güç değerinin, yük tarafında harcanan güç değerine eşit olmasından;

$$M_y \cdot \omega_m = F \cdot v_y + P_{srt}$$

(2.23)

Kayışlı ile kasnak arasında sürtünmeden dolayı kaybolan güç

$$P_{srt} = M \cdot \omega_m \cdot \mu = F \cdot r \cdot \omega_m \cdot \mu \qquad \textbf{(2.24)}$$

*v* çizgisel hızı, *w* açısal hız cinsinden yazılırsa ve (2.24)'deki bağıntı (2.23)'da yerine konulursa; yük momenti

$$M_y = \frac{F \cdot v}{\omega_m} + \frac{P_{srt}}{\omega_m} = \frac{F \cdot \omega_m \cdot 2\pi \cdot r}{\omega_m} + \frac{F \cdot r \cdot \omega_m \cdot \mu}{\omega_m}$$
$$M_y = 2\pi \cdot F \cdot r + F \cdot r \cdot \mu \quad \textbf{(2.25)}$$

Kinetik enerji eşitliğinden motor miline indirgenmiş yük eylemsizlik momenti;

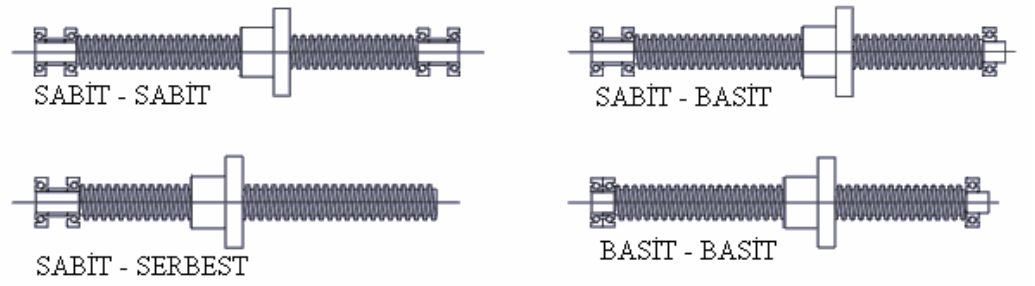
$$\frac{1}{2} \cdot J_{ym} \cdot \omega_m{}^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$
$$J_{ym} = m.\left( \frac{v^2}{\omega_m{}^2} \right) = m \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot 2\pi \cdot r}{\omega_m} \right)^2 = m.(2\pi \cdot r)^2 \quad \textbf{(2.26)}$$

Toplam eylemsizlik momenti hesaplanırken kasnakların da eylemsizlik moment değerleri dikkate alınmalıdır.

$$J_t = J_m + J_{ym} + J_{kasnak1} + J_{kasnak2} \quad \textbf{(2.27)}$$

### 2.2.4 Vidalı Mil Mekanizmalı Hareket

Vidalı mil mekanizmaları özellikle yüksek güç gerektiren uygulamalarda kullanılır. Konum hassasiyeti vidalı mil mekanizmasının adım değerine ve ön yükleme oranlarına bağlıdır. Mekanizma olarak oluşturulan sistemlerde özellikle giriş ve çıkış yataklamaları ve hız kuvvet diyagramları önem kazanır. Mekanik hareket daha kesin olarak önceden düşünülmeli ve hesaplamalar daha gerçekçi yaklaşımlarla yapılmalıdır. Kamçı darbesi problemi nedeniyle mekanizmanın üst hızını sınırlar ve bu nedenle de hızlı uygulamalarda tercih edilmezler [1, 8, 14].




**Şekil 2.8:** Vidalı mil bağlantı tipleri

Hassas konumlamalarda vidalı mildeki diş boşluğu etkisinin azaltılması için ön yükleme yapılmalıdır. Bir ön yükleme değeri varsa verim hesabından da söz edilir. Çeşitli vidalı mil sistemlerinde verim değerleri tablo 2.2'de verilmiştir [1, 8].

**Tablo 2.2:** Vidalı mil tiplerin verimleri

| Tip | Verim |
|---|---|
| Bilyalı araba | 0.90 |
| Plastik araba | 0.65 |
| Metal araba | 0.40 |

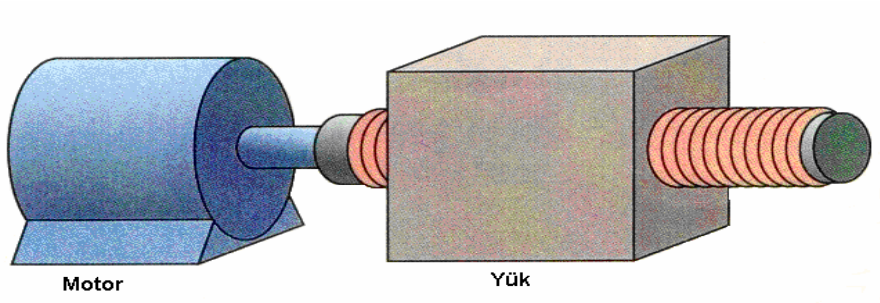
Birinci Yöntem :

Adım aralığı *h* olan vidalı milin çizgisel hızı

$$v = \frac{\omega_y}{2\pi} \cdot h \qquad \textbf{(2.28)}$$

Motor milindeki toplam moment

$$M_{ym} = M_y + M_{ivm} \qquad \textbf{(2.29)}$$




**Şekil 2.9:** Vidalı mil mekanizmalı hareket

Motorun sağladığı güç değeri ile yük tarafında harcanan güç değerinin birbirine eşit olmasından;

$$M_y \cdot \omega_m \cdot \eta = F \cdot v + P_{srt} \qquad \textbf{(2.30)}$$

Vidalı mil ile yük arasındaki sürtünmeden dolayı kaybolan güç

$$P_{srt} = M \cdot \omega_m \cdot \mu_b = F \cdot r_b \cdot \omega_m \cdot \mu_b \qquad \textbf{(2.31)}$$

*v* çizgisel hızı, *w* açısal hız cinsinden yazılırsa ve (2.31)'deki bağıntı (2.30)'da yerine konulursa; yük momenti

$$M_y = \frac{F.v}{\omega_m \cdot \eta} + \frac{P_{srt}}{\omega_m \cdot \eta} = \frac{1}{\eta} \cdot (\frac{F \cdot \omega_m \cdot h}{2\pi \cdot \omega_m} + \frac{F \cdot r_b \cdot \omega_m \cdot \mu_b}{\omega_m})$$

$$M_y = F \cdot \left( \frac{h}{2\pi \cdot \eta} + \frac{r_b \cdot \mu_b}{\eta} \right) \quad \textbf{(2.32)}$$

**Tablo 2.3:** Vidalı millerin sürtünme katsayıları

| **Malzeme** | **Katsayı (μ)** |
|---|---|
| Çelik-çelik (kuru) | 0.58 |
| Çelik-çelik (yağlanmış) | 0.15 |
| Teflon-çelik | 0.04 |
| Bilyeli temas | 0.003 |

Yük tarafındaki eylemsizlik momenti, yükün hareketinden dolayı oluşan eylemsizlik momenti ile vidalı mil sisteminin eylemsizlik momentinden oluşmaktadır.

$$J_y = J_{vida} + J_{dogrusal} \quad \textbf{(2.33)}$$

Vidalı mil sisteminin eylemsizlik momenti, içi dolu silindirin eylemsizlik moment bağıntısından hesaplanır.

$$J_{vida} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 \cdot l \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad \textbf{(2.34)}$$

Hareketten dolayı oluşan eylemsizlik momenti, sistemde biriken kinetik enerjinin eşitliğinden faydalanarak bulunur.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{dogrusal} \cdot \omega_m{}^2 \cdot \eta = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \qquad \rightarrow J_{dogrusal} = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{v}{\omega_m} \right)^2 \quad \textbf{(2.35)}$$

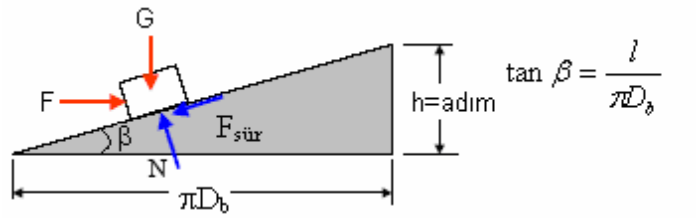
*v* çizgisel hızı, *w* açısal hız cinsinden yazılırsa doğrusal eylemsizlik momenti;

$$J_{dogrusal} = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot h}{\omega_m \cdot 2\pi} \right)^2 = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{h}{2\pi} \right)^2 \quad \textbf{(2.36)}$$

Toplam eylemsizlik momenti

$$J_t = J_m + J_y = J_m + J_{vida} + J_{dogrusal} \quad \textbf{(2.37)}$$

İkinci Yöntem: Vidalı mildeki bir dişe uygulanan kuvvetten gidilerek yükü hareket ettirmek için gerekli olan moment değeri hesaplanır. Birinci yönteme göre daha pratik bir yöntemdir.




**Şekil 2.10:** Bir diş üzerindeki yüke uygulanan kuvvetler

Yatay yönde uygulanan toplam kuvvet;

$$\Sigma F_{yatay} = F - F_{sür.} \cdot Cos\beta - N \cdot Sin\beta \qquad \textbf{(2.38)}$$

Dikey yönde uygulanan toplam kuvvet;

$$\Sigma F_{dikey} = -G - F_{sür.} \cdot Sin\beta + N \cdot Cos\beta \qquad \textbf{(2.39)}$$

Sürtünme kuvvetini sürtünme katsayısı ve yükün ağırlığı cinsinden yazarsak;

$$F_{sür.} = \mu \cdot N \qquad \textbf{(2.40)}$$

Sistemin dengede olduğu ve ivmenin bulunmadığı göz önüne alınarak yatay ve dikey yönde uygulanan toplam kuvvetlerin toplamı sıfıra eşitlenir. $F_{sür.}$ kuvvetinin yerine (2.40)'deki denklemi de yerine koyarsak;

$$F = N \cdot (\mu \cdot Cos + Sin\beta) \qquad \textbf{(2.41)}$$

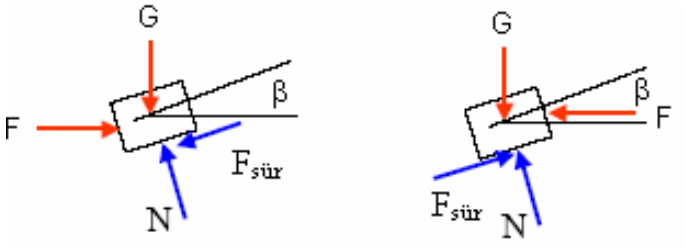
$$N = \frac{G}{\mu \cdot Sin\beta + Cos\beta} \qquad \textbf{(2.42)}$$

(2.42) denklemi (2.41)'de kullanılırsa yükü hareket ettirmek için gerekli olan kuvvet;

$$F = \frac{G}{\mu \cdot Sin\beta + Cos\beta} \cdot (\mu \cdot Cos\beta + Sin\beta) = G \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot h} \right) \qquad \textbf{(2.43)}$$

Yükü hareket ettirmek için gerekli olan moment değeri;

$$M = F \cdot r_b = \frac{G \cdot D_b}{2} \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot h} \right) \quad \textbf{(2.44)}$$




**Şekil 2.11:** Yükün yukarı ya da aşağı yönde ilerlemesi

Yükü, yukarı yönde hareket ettirmek için gerekli olan moment değeri;

$$M_{yukarı} = \frac{G \cdot D_b}{2} \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot h} \right) \quad \textbf{(2.45)}$$

Yükü, aşağı yönde hareket ettirmek için gerekli olan moment değeri;

$$M_{asagı} = \frac{G \cdot D_b}{2} \cdot \left( \frac{\mu \cdot \pi \cdot D_b - h}{\pi \cdot D_b + \mu \cdot h} \right) \quad \textbf{(2.46)}$$

## 2.3 Karmaşık Uygulamalar

### 2.3.1 Kremayer – Pinyon Hareket

Kremayer-Pinyon mekanizmaları, vidalı mildeki kamçı darbesi problemini ortadan kaldırmasının yanında makul hız ve konumlama rijidliğini sağlaması gibi faydaları vardır. Tekrarlanabilirlik özelliği daha iyidir. Ancak dişli boşlukları ve tashih oranlarına bağlıdır. İyi bir verim elde edilmesi ve hassas çalışma, dişlilerdeki ayarlamalarla mümkündür. Özellikle yüksek hızlara çıkılmak istenen yerlerde ve yüksek yüklerde çalışacak mekanizmalarda tercih edilirler [7,14].

Kremayer milin çizgisel hızı

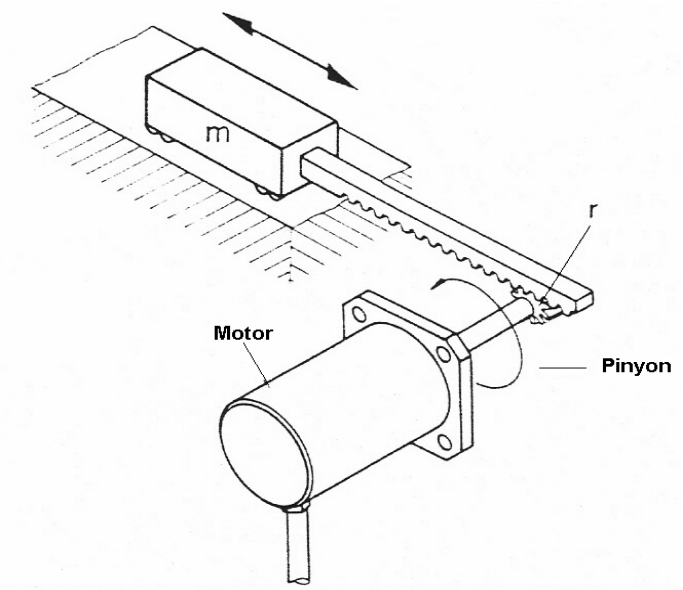
$$v = \omega_m \cdot r \quad \textbf{(2.47)}$$

Motor milindeki toplam moment

$$M_{ym} = M_y + M_{ivm} \tag{2.48}$$

Motor tarafından sağlanan güç değeri pinyon ile kremayer mil arasındaki sürtünmede harcanmaktadır.

$$M_y \cdot \omega_m = P_{srt} \tag{2.49}$$




**Şekil 2.12:** Kremayer – Pinyon hareket

Pinyon ile kremayer mil arasındaki sürtünmeden dolayı kaybolan güç

$$P_{srt} = G \cdot r \cdot \omega_m \cdot \mu \tag{2.50}$$

(2.50) bağıntısındaki "G" yük ile kremayer milin toplam ağırlığını ifade etmektedir. (2.50)'deki bağıntı (2.49)'da yerine konulursa; yük momenti

$$M_y = \frac{P_{srt}}{\omega_m} = \frac{G \cdot r \cdot \omega_m \cdot \mu}{\omega_m} = G \cdot r \cdot \mu \tag{2.51}$$

İvmelenme momenti, açısal hızın zamana göre değişiminin toplam eylemsizlik momenti ile çarpımından bulunur.

$$M_{ivm} = J_t \cdot \frac{d\omega}{dt} \qquad \textbf{(2.52)}$$

Toplam eylemsizlik momenti hesabına kremayer milin ve pinyon dişlisinin eylemsizlik değerleri de katılmalıdır.

$$J_t = J_{dogrusal} + J_{pinyon} + J_{kremayer} \qquad \textbf{(2.53)}$$

Kremayer milin ve pinyon dişlisinin eylemsizlik momentleri, içi dolu silindirin eylemsizlik moment bağıntısından bulunur.

$$J_{pinyon} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{pinyon}{}^4 \cdot l_{pinyon} \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m_{pinyon} \cdot r_{pinyon}{}^2 \qquad \textbf{(2.54)}$$

$$J_{kremayer} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{kremayer}{}^4 \cdot l_{kremayer} \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m_{kremayer} \cdot r_{kremayer}{}^2 \qquad \textbf{(2.55)}$$

Hareketten dolayı oluşan eylemsizlik momenti, sistemde biriken kinetik enerjinin eşitliğinden faydalanarak bulunur.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{dogrusal} \cdot \omega_m{}^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \qquad \rightarrow J_{dogrusal} = m \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot r}{\omega_m} \right)^2 = m \cdot r^2 \qquad \textbf{(2.56)}$$

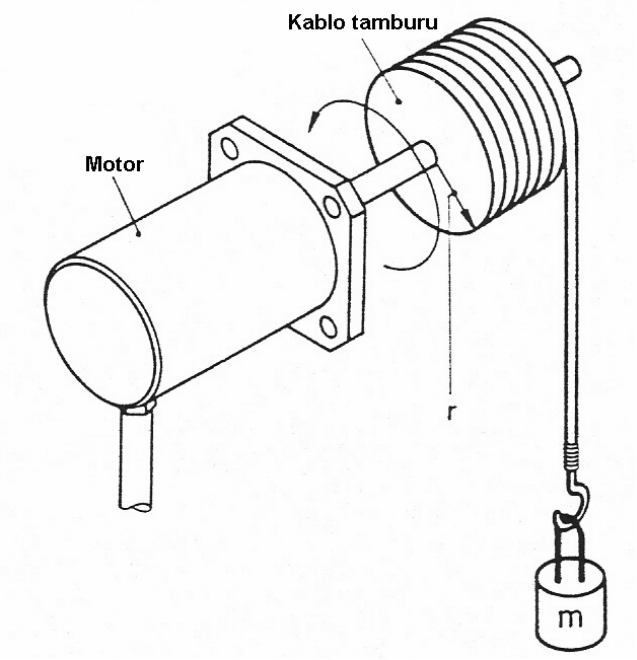
Açısal hızı, radyan cinsinden alınan yolun zamana göre değişimi şeklinde ifade edip (2.52) bağıntısında kullanırsak ivmelenme momentini;

$$\omega_m = \frac{\theta}{t} = \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{360^\circ \cdot t} \qquad (\theta = \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{360^\circ}) \qquad \textbf{(2.57)}$$

$$\int_0^{t_{ivm.}} M_{ivm} \cdot dt = \int_0^{w_m} J_t \cdot \omega \qquad \rightarrow M_{ivm} \cdot t_{ivm} = J_t \cdot \omega_m \qquad \textbf{(2.57a)}$$

$$M_{ivm} = J_t \cdot \frac{\omega_m}{t_{ivm}} = J_t \cdot \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{t_{ivm}{}^2 \cdot 360^\circ} \qquad \textbf{(2.57b)}$$

### 2.3.2 Tambur Hareket




**Şekil 2.13:** Tambur hareketi

m kütleli yükün çizgisel hızı

$$v = \omega_m \cdot r \qquad \textbf{(2.58)}$$

Motor milindeki toplam moment

$$M_{ym} = M_y + M_{ivm} \qquad \textbf{(2.59)}$$

m kütleli yükü kaldırmak için gerekli olan moment;

$$M_y \cdot \omega_m = G \cdot r \cdot \omega_m \qquad \rightarrow M_y = G \cdot r \qquad \textbf{(2.60)}$$

İvmelenme momenti, açısal hızın zamana göre değişiminin toplam eylemsizlik momenti ile çarpımından bulunur.

$$M_{ivm} = J_t \cdot \frac{d\omega}{dt} \qquad \textbf{(2.61)}$$

Toplam eylemsizlik moment hesabına kablo tamburunun ve tamburun içinden geçen milin eylemsizlik değerleri de katılmalıdır.

$$J_t = J_{dogrusal} + J_{tambur} + J_{mil} \tag{2.62}$$

Kablo tamburunun ve milin eylemsizlik momentleri, içi dolu silindirin eylemsizlik moment bağıntısından bulunur.

$$J_{tambur} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{tambur}{}^4 \cdot l_{tambur} \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m_{tambur} \cdot r_{tambur}{}^2 \tag{2.63}$$

$$J_{mil} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{mil}{}^4 \cdot l_{mil} \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m_{mil} \cdot r_{mil}{}^2 \tag{2.64}$$

Hareketten dolayı oluşan eylemsizlik momenti, sistemde biriken kinetik enerjinin eşitliğinden faydalanarak bulunur.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{dogrusal} \cdot \omega_m{}^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \qquad \rightarrow J_{dogrusal} = m \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot r}{\omega_m} \right)^2 = m \cdot r^2 \tag{2.65}$$

Açısal hızı, radyan cinsinden alınan yolun zamana göre değişimi şeklinde ifade edip (2.61) bağıntısında kullanırsak ivmelenme momentini;

$$\omega_m = \frac{\theta}{t} = \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{360^\circ \cdot t} \qquad (\theta = \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{360^\circ}) \tag{2.66}$$

$$\int_0^{t_{ivm.}} M_{ivm} \cdot dt = \int_0^{w_m} J_t \cdot d\omega \qquad \rightarrow M_{ivm} \cdot t_{ivm} = J_t \cdot \omega_m$$

$$M_{ivm} = J_t \cdot \frac{\omega_m}{t_{ivm}} = J_t \cdot \frac{\varphi^\circ \cdot 2\pi}{t_{ivm}{}^2 \cdot 360^\circ} \tag{2.67}$$

### 2.3.3 Mil Hareket

Vidalı milin çizgisel hızı

$$v = \omega_y \cdot \frac{h}{2\pi} \tag{2.68}$$

Dişli oranı

$$ü = \frac{\omega_m}{\omega_y} \tag{2.69}$$

Motor milindeki toplam moment

$$M_{ym} = M_y + M_{ivm} \tag{2.70}$$

Motorun sağladığı güç değeri ile yük tarafında harcanan güç değerinin birbirine eşit olmasından;

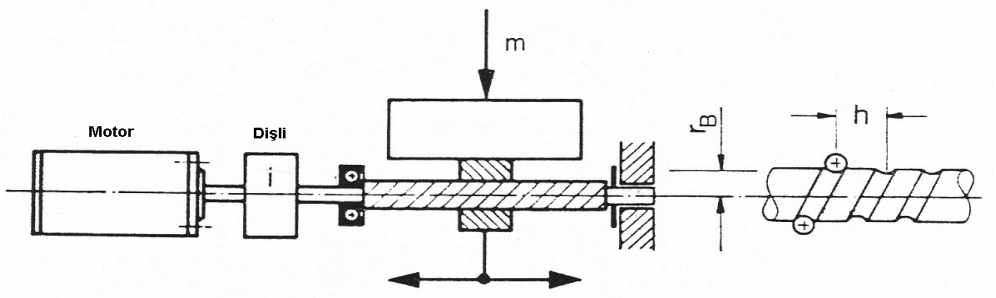
$$M_y \cdot \omega_y \cdot \eta = F \cdot v + P_{srt} \tag{2.71}$$

Vidalı mil ile yük arasındaki sürtünmeden dolayı kaybolan güç

$$P_{srt} = M \cdot \omega_m \cdot \mu_b = F \cdot r_b \cdot \omega_m \cdot \mu_b \tag{2.72}$$

*v* çizgisel hızı, *w* açısal hız cinsinden yazılırsa ve (2.72)'deki bağıntı (2.71)'de yerine konulursa; yük momenti

$$M_y = \frac{F.v}{\omega_m \cdot \eta} + \frac{P_{srt}}{\omega_m \cdot \eta} = \frac{1}{\eta} \cdot \left(\frac{F \cdot \omega_y \cdot h}{2\pi \cdot \omega_m} + \frac{F \cdot r_b \cdot \omega_y \cdot \mu_b}{\omega_m}\right)$$
$$M_y = F \cdot \left(\frac{h}{2\pi \cdot \eta \cdot ü} + \frac{r_b \cdot \mu_b}{\eta \cdot ü}\right) \tag{2.73}$$




**Şekil 2.14:** Mil hareket

Yük tarafındaki eylemsizlik momenti, yükün hareketinden dolayı oluşan eylemsizlik momenti ile vidalı mil sisteminin eylemsizlik momentinden oluşmaktadır.

$$J_y = J_{vida} + J_{dogrusal} \tag{2.74}$$

Vidalı mil sisteminin eylemsizlik momenti, içi dolu silindirin eylemsizlik moment bağıntısından hesaplanır.

$$J_{vida} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 \cdot l \cdot \rho = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \tag{2.75}$$

Hareketten dolayı oluşan eylemsizlik momenti, sistemde biriken kinetik enerjinin eşitliğinden faydalanarak bulunur.

$$\frac{1}{2} \cdot J_{dogrusal} \cdot \omega_m{}^2 \cdot \eta = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \qquad \rightarrow J_{dogrusal} = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{v}{\omega_m} \right)^2 \tag{2.76}$$

*v* çizgisel hızı, *w* açısal hız cinsinden yazılırsa doğrusal eylemsizlik momenti;

$$J_{dogrusal} = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{\omega_m \cdot h}{\omega_m \cdot 2\pi} \right)^2 = \frac{m}{\eta} \cdot \left( \frac{h}{2\pi} \right)^2 \tag{2.77}$$

Motor tarafına indirgenmiş eylemsizlik momenti;

$$\frac{1}{2} \cdot J_{ym} \cdot \omega_y{}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_y \cdot \omega_m{}^2 \qquad \rightarrow J_{ym} = J_y \cdot \frac{\omega_m{}^2}{\omega_y{}^2} = J_y \cdot \frac{1}{\ddot{u}^2} \tag{2.78}$$

Toplam eylemsizlik momenti

$$J_t = J_m + J_{ym} \tag{2.79}$$

## 2.4 Harmonik Sürücü

Özellikle robot eksenlerinde ve hassas mekanizmalarda kullanılan özel bir planeter dişli mekanizmasıdır. Temel olarak esnek metal teknolojisinden yararlanır (Şekil 2.15) [12].



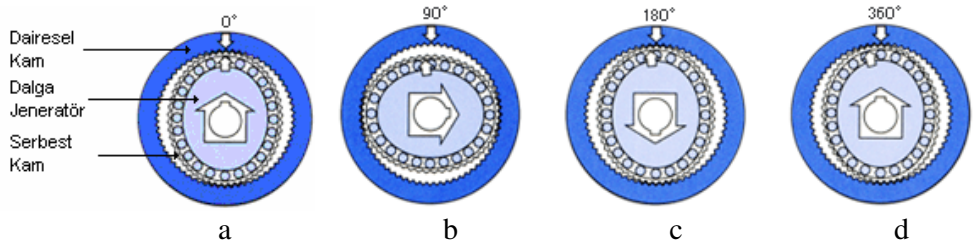

**Şekil 2.15:** Harmonik sürücünün genel yapısı

Harmonik Sürücü üç ana alt parçadan oluşur.

- Dalga Jeneratör (Wave generator) : Çevresel olarak eliptik bir kam formuna sahip ve çalışma şartlarına göre belirlenmiş bir yataklama grubu ile çalışmaktadır. Bu ünite aynı zamanda motor milinin bağlandığı kısımdır. Giriş momentinin aktarıldığı elemandır.
- Serbest Kama (Flexspline) : Etrafında özel olarak hesaplanmış formda dış dişli olan ince esnek saçtan yapılmış kovan gibi bir elemandır. Ve çıkış momentinin sisteme aktarıldığı da elemandır.
- Dairesel Kama (Circular spline) : Rijid bir malzemeden iç yüzeyinde aynı formda diş profili olan ve yapısından dolayı da serbest kamın sahip olduğu diş sayısından 2 adet fazla diş sayısına sahip elemandır.

Şekil 2.16a'da Serbest kam, dalga jeneratör formunda montaj edilmiştir. Çevrim başlangıç konumunda elips şeklinin en uzun ekseni boyunca dişler temas halinde, ancak kısa eksen boyunca hiçbir temas yoktur.

Şekil 2.16b'de Sistemi dairesel kam elemanının sabitlendiği durumunda inceliyorsak, dalga jeneratörünün saat yönündeki hareketinde serbest kam'ın esnek bağlantısından dolayı dişler dairesel kam elemanına göre bağıl hareket yapar.




**Şekil 2.16:** Harmonik sürücünün çalışma prensibi

Şekil 2.16c'de Dalga jeneratörün saat yönündeki 180 derecelik hareketine karşılık, serbest kam saatin ters yönünde 1 dişlik kavrama miktarı kadar hareket eder.

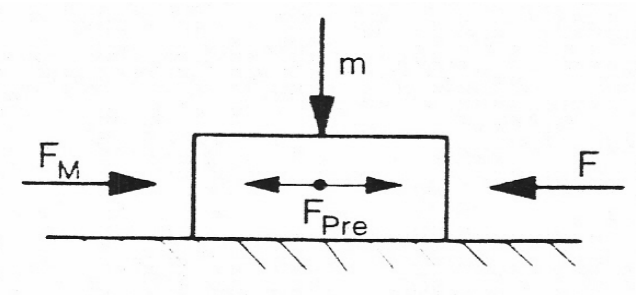
Şekil 2.16d'de saat yönündeki 360 derecelik hareket tamamlandığında serbest kam saatin ters yönünde 2 diş kavrama miktarı kadar hareket eder. Bu aynı zamanda çıkış milindeki hareketi temsil eder [12].

Avantajları:

- Çalışma mekanizmasından ötürü 1/320'ye varan yüksek çevrim oranları sağlar.
- Hareket kontrolünde avantaj sağlayacak şekilde diş formlarından ötürü yaklaşık olarak sıfır dişli boşluğu ile çalışma sağlar.
- Diş boşluklarındaki çalışma boşluğunun azlığından dolayı yüksek konumlama hassasiyeti getirir.
- Küçük bir mekanik yapıya sahiptir. Hızlı ve kolay montaj avantajları sağlar.
- Dişli formaları ve temas oranlarından dolayı yüksek moment aktarma kapasitesi ve yorulmaya karşı uzun sürelerde çalışma sağlayabilir.
- Verimlilik değeri klasik dişli mekanizmalarına göre çok yüksektir.
- Sessiz ve titreşimsiz bir çalışma sağlar.

## 2.5 Yüke Etkiyen F Kuvveti

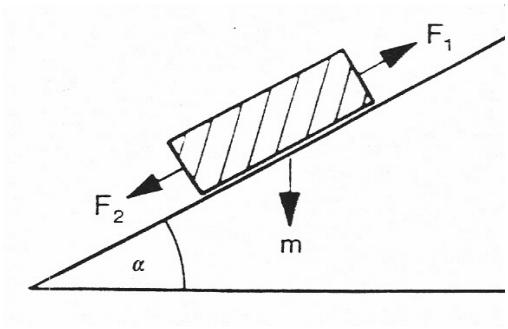
- Yük yatay yönde hareket ettirildiği durumda uygulanan kuvvet, yükle ile yüzey arasındaki sürtünme kuvvetinden ve önyükleme kuvvetinden oluşmaktadır.




**Şekil 2.17:** Yatay hareket

$$F = F_{öny} + m \cdot g \cdot \mu \qquad \textbf{(2.80)}$$

- Yük eğik bir düzlemde hareket ettirildiğinde uygulanan kuvvet, yükün aşağı ya da yukarı yönde hareket etmesine göre değişir.




**Şekil 2.18:** Eğik düzlem

- Yukarı yönde hareket;

$$F = F_{öny} + m \cdot g \cdot (Sin\alpha + \mu \cdot Cos\alpha) \qquad \textbf{(2.81)}$$

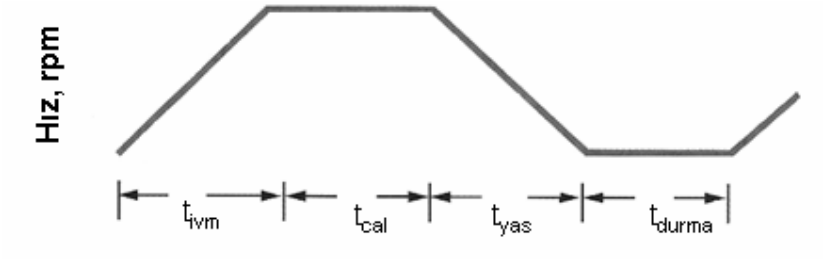
- Aşağı yönde hareket;

$$F = F_{öny} + m \cdot g \cdot (Sin\alpha - \mu \cdot Cos\alpha) \qquad \textbf{(2.82)}$$

## 2.6. Hareket Profilinin Hesaplanması

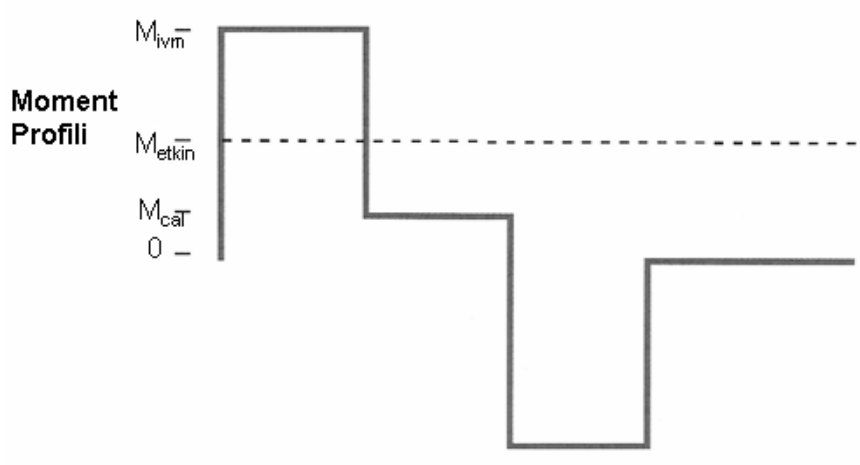
Yükü tam olarak analiz edebilmek ve motorun seçimini uygun yapabilmek için, Bölüm 2.2 veya Bölüm2.3'de hesaplanan moment değerleri ile birlikte hız-zaman profilinin tanımlanması gerekmektedir.

Hareket profili, yükün istenilen ivmelenme oranını, çalışma zamanını, hızını ve yavaşlama oranını tanımlar.




**Şekil 2.19:** Hız profili

Hız profilini ve yük parametrelerini kullanarak, moment-zaman profili çıkarılabilir.




**Şekil 2.20:** Moment profili

### 2.6.1 Tepe Moment Değerinin Hesaplanması

Doğrusal eksende ΔS kadar hareket eden bir yükün motor milindeki radyan cinsinden dönme açısı;

$$\Delta\theta = 2\pi \cdot \frac{\Delta S}{U} \qquad \textbf{(2.83)}$$

Δθ dönme açısını Δt zamanında alan motorun açısal ivmesi rad/sn$^2$ cinsinden

$$\alpha = \frac{\Delta\theta}{\Delta t^2} \qquad \textbf{(2.84)}$$

Motorun açısal hızı rad cinsinden

$$\omega = \alpha \cdot \Delta t \qquad \textbf{(2.85)}$$

Motorun devir hızı devir/dak cinsinden

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2\pi} \qquad \textbf{(2.86)}$$

Yükü sürmek için gereken moment değeri;

$$M_m = M_y + M_{ivm} \qquad \textbf{(2.87)}$$

(2.87) bağıntısındaki ilk terim yük momentini ifade etmektedir ki hareket sistemlerine bağlı olarak nasıl hesaplanacağı Bölüm 2.2'de ve Bölüm2.3'de anlatılmıştır. İkinci terim ise yük eylemsizliğini ivmelendirmek ve yavaşlandırmak için gerekli olan moment değerini ifade eder. Yük eylemsizlik moment değerinin de çeşitli hareket sistemlerine göre hesaplanması Bölüm 2.2'de ve Bölüm2.3'de anlatılmıştır.

$$M_{ivm} = J_{top} \cdot \alpha \qquad \textbf{(2.88)}$$

Max. ivmelenme ivmesini (2.88) bağıntısında kullanıp (2.87) bağıntısına eklersek tepe moment değeri hesaplanabilir.

$$M_{tepe} = M_y + J_{top} \cdot \alpha_{\max} \qquad \textbf{(2.89)}$$

### 2.6.2 Eylemsizlik Uyumluluğu

Hareket kontrol sistemlerinde, yeni bir hız referans değerine olabildiğince çabuk ulaşılmak istenir. Hareket kontrol sistemleri, genellikle, ikinci mertebe sönümlü sistem davranışı gösterirler. Sistem davranışının az sönümlü olması, diğer bir deyişle sönüm oranının büyük olması, yük eylemsizliğinin motor milindeki etkisinin küçük tutulması ile sağlanır. Bunun için seçilen yükün eylemsizlik momentinin motorun eylemsizlik momentine oranının belirlenmesi önemlidir [13, 16].

Newton fiziğine göre kuvvet denklemi $F = m \cdot a$ veya dönel sistemlerde moment denklemi $M = J \cdot a$'dir. Bu temel denkleme göre ne kadar az eylemsizlik momenti o kadar az dönme kuvveti gerektirir. Eylemsizlik momentini küçültmeye çalışmak ivmelenmeyi büyütmek için avantaj sağlamaktadır. Yük eylemsizlik momenti sabitse motor eylemsizlik momenti küçültülmelidir. Motor eylemsizlik momentinin azaltılması motor dönme kuvvetinin gereksiz kullanımını engeller. Sonuç olarak motor eylemsizlik momenti belli bir motor kuvvetine kadar azaltılması teorikte hızı artırır, sistem genişliğini artırır, aynı anda yükleme uyumsuzluğunu da artırır [17].

Motor ve yükleme eylemsizlik moment değerleri uyumluluğu maksimum güç transferi oluşturur (mekanik sistemde). Maksimum ivmelenme için maksimum güç transferi denklemleri yazılırsa [17];

$$M_m = \left( J_m + \frac{J_{ym}}{ü^2} \right) \cdot \alpha_m \qquad \textbf{(2.90)}$$

Motorun ivmelenmesi;

$$\alpha_m = \alpha_y \cdot ü \qquad \textbf{(2.91)}$$

(2.91) nolu bağıntı (2.90)'da yerine konulup yükün ivmelenmesi ($\alpha_y$) çekilirse;

$$\alpha_y = \frac{M_m \cdot ü}{J_m \cdot ü^2 + J_{ym}} \qquad \textbf{(2.92)}$$

Dişli oranı ü'ye göre türev alınırsa;

$$\frac{d\alpha_y}{d\ddot{u}} = \frac{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym}) \cdot (M_m \cdot \ddot{u})' - (M_m \cdot \ddot{u}) \cdot (J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym})'}{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym})^2}$$
$$\frac{d\alpha_y}{d\ddot{u}} = \frac{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym}) \cdot M_m - (M_m \cdot \ddot{u}) \cdot 2J_m \cdot \ddot{u}}{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym})^2} = \frac{M_m \cdot (J_{ym} - J_m \cdot \ddot{u}^2)}{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym})^2} \quad \textbf{(2.93)}$$

Türev sıfıra eşitlenirse maksimum ivmelenmeyi verecek dişli oranı bulunur.

$$0 = \frac{M_m \cdot (J_{ym} - J_m \cdot \ddot{u}^2)}{(J_m \cdot \ddot{u}^2 + J_{ym})^2} \quad \textbf{(2.94)}$$
$$0 = J_{ym} - J_m \cdot \ddot{u}^2$$

Dişli oranı çekilirse; $\ddot{u} = \sqrt{\frac{J_{ym}}{J_m}}$ **(2.95)**

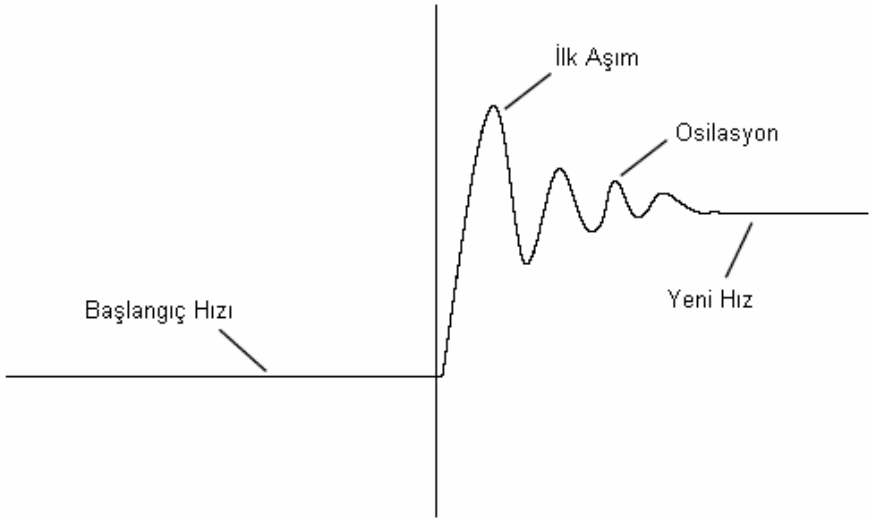
denklemi elde edilir.

Bu denklemin hesabında sürtünme ihmal edilmiştir. Motor tarafındaki dişli ya da makara eylemsizlik momenti motorun eylemsizlik momentinin bir parçası sayılmıştır. Aynı şekilde yük tarafındakilerde yükün eylemsizlik momentinin bir parçası sayılmıştır.

Denklem (2.95)'te de görüldüğü gibi ideal olarak yük ile motor arasında 1:1'lik eylemsizlik oranı istenir ancak, eylemsizlik oranı 10:1 veya daha küçük olduğu durumlar da yaygındır. Bu orandan büyük eylemsizlik oranları salınımlara neden olacak ve dengeye gelme süresini uzatacaktır. Hedeflenen değeri aşmayı ya da yüksek sapmalı salınımları önlemek için kontrol kazancı azaltılmalıdır. Bu ise hareket ve konumlama zamanlarını arttıracak, bazı uygulamalar için uygun olmayan durumlara neden olacaktır [2, 10, 13, 16].

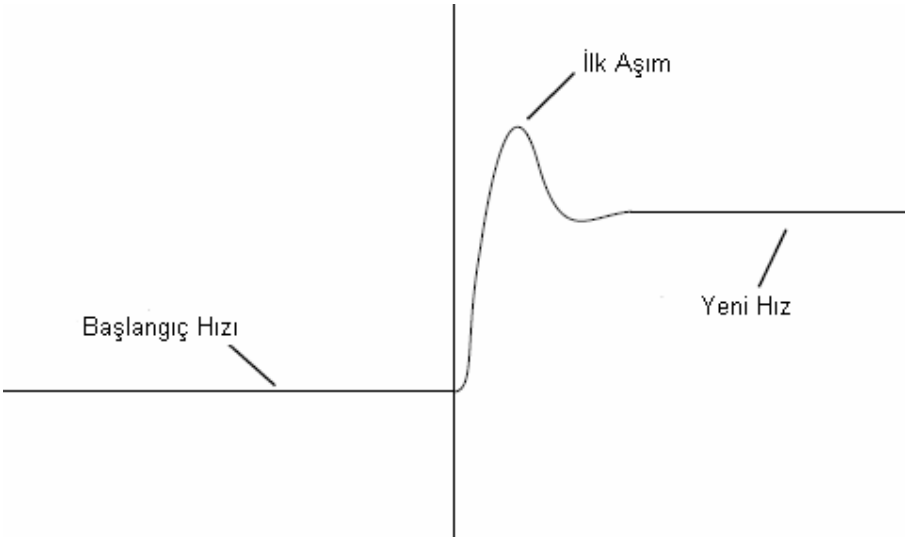
Uygulamalarda yük ile motor arasındaki eylemsizlik oranını ayarlarken mekanik aktarma organlarından yararlanır. Dişli oranlarını ya da vida diş sıklığını değiştirmek ve eylemsizliği büyük motorlar kullanmak her zaman eylemsizlik oranını düşürme yollarıdır. Aynı zamanda özel döngü giderme düzeneklerini kullanmak da mümkündür; fakat bu daha pahalı ve standart dışı kontrolleri içeren özel tasarım gerektirir [2].

Aynı kontrol kuralları altında yük, motor eylemsizliği oranı değiştirilirse Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'deki sistem yanıtları elde edilir.




**Şekil 2.21:** Eylemsizlik oranının büyük olduğu durum

Sistemin eylemsizliği uygun şekilde seçilirse sistem, yeni hızına çabuk olarak yerleşir.




**Şekil 2.22:** Eylemsizlik oranının kabul edilebilir değerde olduğu durum

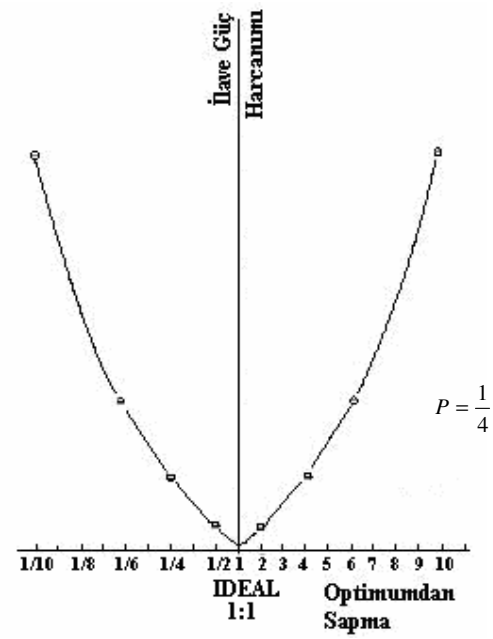
Mekanik rezonans frekansı; motor, yük eylemsizliği ve iletim katılığı arasındaki ilişkiye bağlıdır:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{(J_y + J_m)K}{J_y J_m}} \qquad \textbf{(2.96)}$$

Bu formül, mekanik bükülme rezonansı frekansının katılığa bağlı olduğunu ve yük eylemsizliğinin mekanik rezonans ile ters orantılı olduğunu gösteriyor.

En iyi tepki için, hesaplanan frekans noktası sistem band genişliğinin dışında olmalıdır. Genellikle kapalı çevrim bant genişliğinin 5-10 katı bir değer yeterli olmaktadır. Bu noktanın yeterli olduğunu anlamanın en kolay, hızlı ve ucuz yolu uyumlu bir birleşimi sağlamak ve yüksek dişli oranı kullanmaktır [10].

Eylemsizlik oranlarını kontrol etme gereksinimin sebeplerinden biri de boşa harcanan güçtür. Denklemi optimum ve optimum olmayan güç harcama yönlerinden analiz etmek Şekil 2.23'deki grafiği ortaya çıkarır. Grafik, optimumdan küçük sapmaların çok kritik olmadığını fakat sapma arttıkça, olumsuz etkilerin de gittikçe ciddileştiğini gösteriyor. Görüldüğü üzere 1:1 oran en az güç tüketimini sağlar. 2:1 oranında bir sapma için güç tüketiminin arttığı; bu durumda da fazla akım gereksinimi ortaya çıktığı görülür [10].




**Şekil 2.23:** Yük/Motor eylemsizliklerinin uyumsuzluğundaki enerji harcanım grafiği

Sistem güç tüketimi eylemsizlik uyumluluğu ile küçültülebilir. Uygulamalar için eylemsizlik oran aralıkları :

Robot tipi uygulamalar için 1:1 ile 3:1 arasında

Makine araç tipi uygulamalar için 4:1 ile 7:1 arasında

Diğer X-Y pozisyonlama tipi uygulamalar için 5:1 ile 10:1 arasında

### 2.6.3 Etkin Moment (RMS) Değerinin Hesaplanması

Hareket kontrol uygulamalarının periyodik hareket yapısı nedeni ile motorlar hem sürekli hem de kesintili çalışma alanlarına sahiptir.Sürekli çalışma alanını doğru seçebilmek için etkin moment (RMS) değerini bilmek gerekmektedir.

Etkin momentin değeri, hareketin bir çevrimi boyunca gerçekleşen değişken moment değerlerinin eşdeğeri ile ifade edilir.Etkin moment, tüm çevirim boyunca moment-zaman eğrisinin tüm çalışma noktalarına bakılarak belirlenir [9, 2].

Şekil 2.20'deki moment profilinden ivmelenme, çalışma, yavaşlama zamanlarına karşı düşen moment değerleri elde edilirse; etkin moment ifadesi

$$M_{etkin} = \sqrt{\frac{\left(M_{ivm}{}^{2} \cdot t_{ivm} + M_{cal}{}^{2} \cdot t_{cal} + M_{yav}{}^{2} \cdot t_{yav}\right)}{t_{ivm} + t_{cal} + t_{yav} + t_{durma}}} \qquad \textbf{(2.97)}$$

İzin verilen çalışma sıcaklığının aşılmaması için etkin moment değeri anma momentinden küçük ve motor anma momentinin üstündeki yüklenme süreleri ısıl dengeye erişme süresinden kısa olmalıdır. Yük momentinin etkin değerinin (RMS), sürekli çalışmadaki motor anma momentine eşit olması durumunda motor son çalışma sıcaklığına ulaşır [2, 11].

Bu yüzden Etkin Moment ≤ Seçilen Motorun Sürekli Moment Değeri olmalıdır.

### 2.6.4 Kontrollör Seçimi ve Güç Gereksinimleri

Kontrollör, yeterli ivmelenme akımını ($I_{ivm}$) ve uygulamanın etkin sürekli akım ($I_{etkin}$) ihtiyacını karşılayabilmeli.

Motoru besleyecek gerekli ivmelenme akımı;

$$I_{ivm} = \frac{M_{ivm}}{K_t} \qquad \textbf{(2.98)}$$

Etkin çalışmadaki akım;

$$I_{etkin} = \frac{M_{etkin}}{K_t} \qquad \textbf{(2.99)}$$

$K_t$ moment katsayısı olup seçilen motorun katalog bilgilerinden elde edilir.

Kontrollör, hem hareket profilinin ivmelendiği bölümlerin hem de etkin çalışmanın gereksinimini yeterli güç ile karşılayabilmelidir. Güç gereksinimini iki bölümde

inceleyebiliriz; birinci bölüm yükün hareketi için gerekli olan($P_{hareket}$) güç, ikinci bölüm ise motordaki kayıp güçtür ($P_{kayıp}$) [11].

Yükün hareketi için güç:

$$P_{hareket} = M_m \cdot \omega_m \quad \textbf{(2.100)}$$

Motordaki güç kaybı motor akımının bir fonksiyonudur. Şöyle ki ivmelenme esnasında kayıp güç değeri ivmelenme akımına bağlıdır; sürekli çalışmada ise etkin akımın bir fonksiyonu olur. Bundan dolayı aşağıdaki formülde uygun değer olarak "I" kullanılmıştır.

$$P_{kayıa} = I^2 \cdot (R_m) \quad \textbf{(2.101)}$$

AC Servo motorda rotor sabit mıknatıstan oluşur ve stator ile rotor arasındaki hava boşluğu daha azdır (milimetrenin kesri mertebesinde). Dolayısıyla direnç kayıpları motordaki kayıplara eşit alınabilir.

$P_{hareket}$ ve $P_{kayıp}$ güçlerinin toplamı toplam güç gereksinimi ifade eder.

$$P_{toplam} = P_{hareket} + P_{kayıa} \quad \textbf{(2.102)}$$

# 3. SIMOTION HAREKET KONTROL SİSTEMİ

Etkili bir kontrol sistemi, üretim makineleri alanındaki bugünün görevlerinin ve yarının eğilimlerinin açık kontrol kavramları kullanılarak uygulanmasına ihtiyaç duymaktadır.

SIMOTION, hareket kontrolü uygulamalarına ve teknoloji görevlerine ayrı bir önem veren, otomasyon ve sürücü çözümleri içim optimize edilmiş bir sistem platformudur. Üretim makinelerinin otomasyonu üzerine odaklanan üniform bir hareket kontrol sistemidir. Üniformluk; mühendislik, programlama, iletişim, veri yönetimi ve insan-makine ara yüzü (HMI) ile ilgilidir ve dolayısı ile farklı donanım platformlarında dahi tüm sistemi kuşatmaktadır [15].

Simotion Hareket Kontrollörünün en temel özellikleri:

- Mekatronik

  Mekatronik, bir makinenin sadece mekanik yönü ile değil, aynı zamanda mekanik bileşenlerin, elektriksel bileşenlerin; kontrol ve yazılım teknolojilerinin eşit olarak yürütüldüğü bütün bir sistem olarak addedilmesidir. Mekatroniğin bir parçası olarak, göreceli olarak esnek olmayan mekanik bileşenlerin (kamlar, dişli takımları, kavramalar düşey miller, vb.) yerini akıllı yazılım çözümleri almışlardır.

- Otomasyon

  Katıksız otomasyon fonksiyonları ile hareket fonksiyonları arasındaki tarihsel ayrım elimine edilmiştir. Bu fonksiyonlar hem donanım hem de yazılım tarafında birleştirilmiştir.

- Kullanılabilirlik

  Üniform bir mühendislik sistemi (SIMOTION SCOUT), yapılandırmada, parametreleştirmede ve programlamada tutarlılığı temin etmektedir. Otomasyon görevleri ve hareket kontrol görevleri aynı dilde programlanmıştır. Dolayısı ile yazılımda Otomasyon yönü de uyum sağlamıştır.

- Açık Mimari

Otomasyon endüstrisi, Microsoft Windows ve Ethernet gibi kişisel bilgisayar dünyasındaki standartlara bağlılığı gittikçe artmıştır. Standartlaştırılmış küresel programlama dilleri, bizler açısından sistemin ele alınmasını büyük oranda kolaylaştırmıştır.

- Modüler makine tasarımları

Standartlaştırmaya yönelik eğilim, makine tasarımlarını da etkilemektedir. Bunun bir sonucu olarak, makine tasarımını alt bileşenlere bölmeye yönelik girişimler yapılmaktadır. Bu modülerliğin etkisi ile ayrı alt bileşenleri standartlaştırmak ve değişik makine tiplerinde onları standart bileşenler olarak kullanmak mümkün olmaktadır.

### 3.1 Uygulama Alanları

Sektörlerdeki otomasyon çözümleri, standart mantık ve sürücü-ilgili görevlere ilave olarak; daha da artan bir şekilde bütünleşmiş ve üniform hareket kontrolünün ve teknoloji görevlerinin birleştirilmesine ihtiyaç duymaktadır.

Hareket kontrol sisteminin önemli olduğu başlıca makine mühendisliği sektörleri:

- Paketleme makineleri,
- Plastik endüstrisinde kullanılan makineler,
- Presler,
- Tekstil makineleri,
- Matbaa makineleri,
- Ahşap, cam ve seramik endüstrilerinde kullanılan makineler, vb...

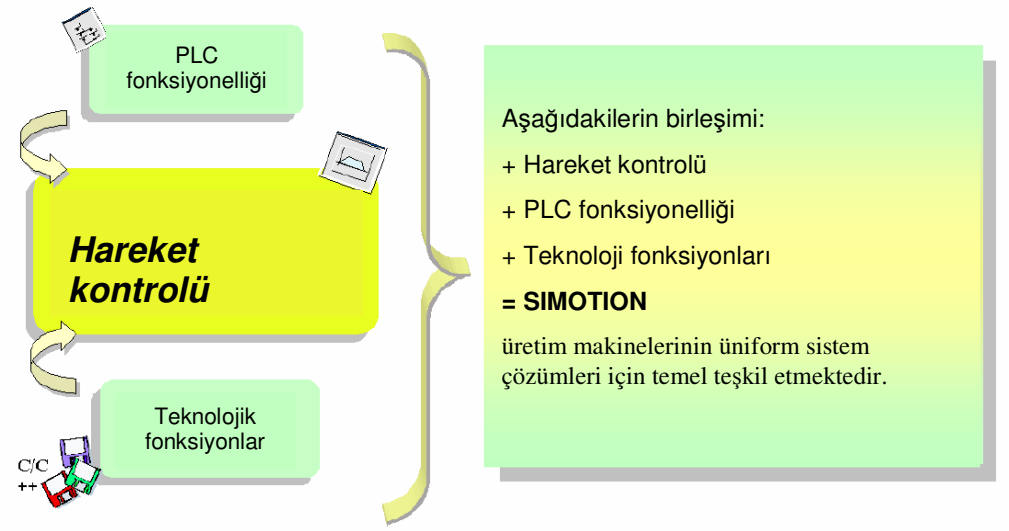
Bir modüler sistem olan SIMOTION, SCOUT mühendislik sisteminden ve değişik donanım platformları için ortak bir çalıştırma sisteminden ibarettir. SCOUT mühendislik sistemi tüm donanım platformları için özdeştir. Yapılandırma, parametre atanması ve programlama, grafik-tabanlı ve metin-tabanlı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu, aynı zamanda sektöre özel çözümlerin de temelini oluşturmaktadır.

Uygulamanıza bağlı olarak, temel işlevleri kuşatmak için hangi çalıştırma yazılımını (konumlandırma, senkronize işlem,...) yükleyeceğimize karar vermekteyiz.

SIMOTION'un çeşitli donanım platformları üzerinde çalışıyor olması gerçeği, onu, tüm ihtiyaçları karşılayan çok yönlü bir çözüm yapmaktadır.

### 3.2 PLC ve Hareket Kontrolünün Birleşmesi

SIMOTION'un gerçek yenilikçi yönü, katıksız otomasyon fonksiyonları (tipik olarak programlanabilir kontrolörler) ve hareket fonksiyonları (hareket kontrolü) arasındaki tarihsel ayrımı ortadan kaldırmasıdır. Bunların birleşimi, hem donanım, hem de yazılım seviyesinde gerçekleşmektedir.




**Şekil 3.1:** PLC ve Hareket Kontrolünün Birleşimi

Donanım tarafında, programlanabilir kontrolör hareket fonksiyonlarını işleyebilmekte ve donanım platformu ayrı olarak seçilebilmektedir.

Yazılım tarafında, otomasyon fonksiyonları ve hareket fonksiyonlarının birleşimi daha kolay mühendislik ortaya çıkarmaktadır. Yazılım tarafında birleşim konfigurasyon ile başlamakta, parametre atanması ve programlama ile devam etmektedir.

SIMATIC ile uyumluluk, her iki sistem de sık sık bir arada kullanıldığı için diğer bir esas özelliktir. Bu, üniform bir mühendislik ara yüzü ile mümkün kılınmıştır.

### 3.3 Sistem Mimarisi

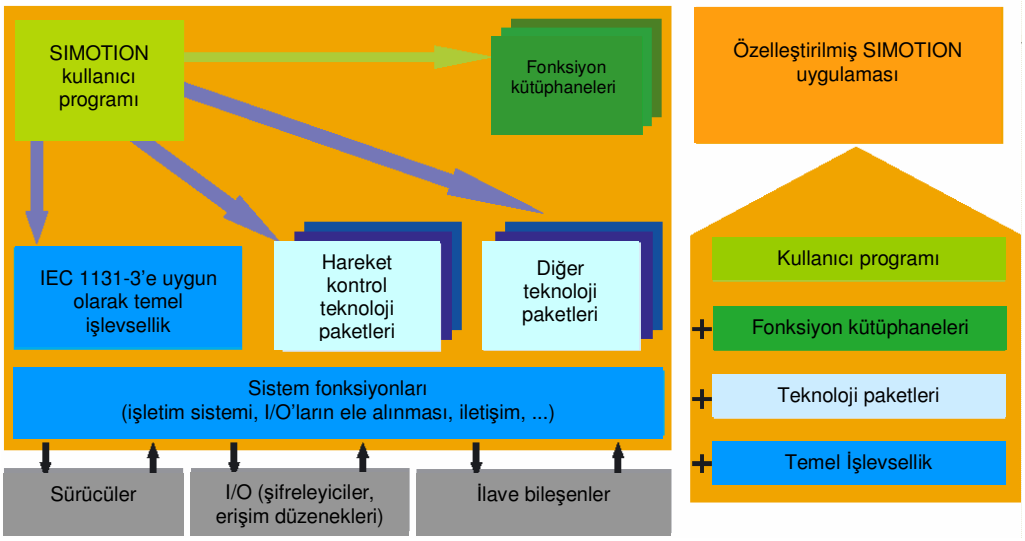
Yeni otomasyon sistemindeki muhtemelen en genel yola çıkış noktası, aşağıdakileri sağlayan sistem mimarisidir:

- Sistem tasarımındaki geleceğe yönelik gelişmelerin temelini teşkil etmek,
- Uygulanması gerekli olan sorumluluğun dağıtılması, heterojen hedef sistemleri ve dağıtımlı anlayışa doğru olan eğilimleri mümkün kılmak.

Görevler, programı çalıştırmak için hangi SIMOTION cihazının kullanılacağından bağımsız olarak program şeklinde merkezi olarak formüle edilmektedir. Bu fonksiyonların yerel veya uzaktan kumandalı olarak çalıştırılıp çalıştırılmayacağını en başta belirtilmesine gerek bulunmamaktadır ve bu ayarlar daha sonra değiştirebilinir.

SIMOTION hedef sistemleri arasındaki iletişim sistem tarafından yönetilmektedir ve programlanmalarına gerek bulunmamaktadır. Konfigurasyon ayarlandığı sırada sadece bir kereliğine iletişim bağlantılarının tanımlanması yeterlidir. Dağıtılmış anlayış nedeni ile büyük bir esnekliğe ve özel görevler programlanırken dağıtılmış alt sistemler arasındaki iletişim ilişkileri hakkında endişe edilmesine gerek olmaması gibi faydalara sahip olunmaktadır.

SIMOTION cihazlarının yazılım yapısının genel bir görüntüsünü Şekil 5.2'de vermektedir.




**Şekil 3.2:** SIMOTION yazılımın yapısı

SIMOTION sistemi, özellikle hareket kontrol uygulamaları olmak üzere sektöre özel otomasyon görevleri için ölçeklendirilebilir bir sistem platformu oluşturmuştur. Yazılımın modüler tasarımı, birçok ihtiyaca kolayca adapte edilebilir. Kütüphaneler, yazılımın yeniden kullanımını desteklemektedir.

### 3.3.1 Temel işlevsellik

Cihazın (SIMOTION kernel) temel işlevselliği, mantık ve aritmetik fonksiyonları ile beraber açık-döngülü ve kapalı-döngülü kontroller için fonksiyonları içermektedir. Programın çalışması döngüsel, zaman veya kesme-tetiklemeli olabilir. Sonuç olarak SIMOTION kernel, fiilen tüm uygulamalar için ihtiyaç duyulan fonksiyonlara sahiptir ve IEC 1131-3 komut seti ve girişler ve çıkışlar gibi muhtelif bileşenleri kontrol etmek için fonksiyonları bulunan bir PLC'ye benzemektedir.

Teknoloji paketleri yüklenerek cihazın SIMOTION kernel'i büyütülebilinir. Teknoloji paketlerine, SIMOTION kernel'e ulaşmak için kullanıldığı gibi kullanıcı programından özel dil komutlarını kullanarak ulaşılabilinir.

Özel görevler için, mevcut uygulamaları kullanabilir veya ihtiyaç duyulan uygulamaları programlayabilir ve bağlantılarını kurabiliriz. Uygulamalar, IEC 1131-3 ile uyum içerisinde programlanmıştır ve özel görevlere adapte edilebilir.

İlave olarak SIMOTION, sistem fonksiyonlarını ve hareket fonksiyonlarını içeren fonksiyon kütüphaneleri sunmaktadır. Fonksiyon kütüphaneleri fonksiyonlar içermektedir ve bir teknoloji nesnesinin sistem değişkenlerine ulaşmaktadır ve SIMOTION SCOUT'taki teknoloji paketine bağlanmışlardır.

### 3.3.2 Kullanılabilirlik

Temel işleme ve en iyi kullanılabilirlik gibi gereksinimler, özellikle karmaşık görevler için, sürekli artmaktadır. Esas faydayı, mühendislik gibi çeşitli komponentler arasındaki etkileşimleri optimize eden bütünsel bir otomasyon çözümü sağlar.

Bu yaklaşımın merkezi, otomasyon ve hareket görevlerinin birleşimidir ve bu görevleri programlamak için grafik-tabanlı **MCC** Hareket Kontrol Çizelge aracının kullanılmasıdır. Üretim makineleri için ayrı otomasyon görevleri, üniform ve tutarlı bir kullanıcı ara yüzünde formüle edilmiştir. Grafik-tabanlı programlama araçları mantık ve hareket fonksiyonlarının programlanmasını sağlar.

Aynı zamanda IEC 1131-3 uyumlu, yüksek seviye **ST** Yapılanmış Metin dilinde veya **LAD/FBD** kullanarak mantık komutları da programlayabilinir.

Konumlandırma veya senkronize işlemler gibi hareket kontrol görevleri de, tıpkı mantık komutları gibi fonksiyonlar olarak programa kolayca eklenebilir.

### 3.3.3 Bütünüyle Tümleşik Otomasyon

Programlama ve yapılandırmada, veri yönetiminde ve iletişimdeki üç katlı uyum, Tamamen Bütünleşmiş Otomasyon'un tam kalbindedir: Bu sayede SIMATIC ile çözülen tüm otomasyon görevleri, Tamamen Bütünleşmiş Otomasyon'un birçok avantajından da tamamen faydalanabilmektedir.

- Mühendislik maliyetlerinde kayda değer azalma,
- Otomasyon görünümünde sistem kesintilerinin olmaması,
- Tüm bileşenler için tek bir yazılım temeli,

Otomasyon görevinin makinelerdeki veya sistemlerdeki özelleşmiş çözümlerin yürütülmesini veya küçük-ölçekli otomasyon görevlerini içeriyor olması fark yaratmamaktadır. SIMATIC ile Tamamen Bütünleşmiş Otomasyon; programlanabilir kontrolörler, PC tabanlı kontrol, otomasyon bilgisayarları, dağıtımlı I/O, HMI sistemleri, iletişim ağları ve süreç kontrol sistemleri de dahil olmak üzere otomasyonumuzun ihtiyaç duyacağı tüm teknolojileri içermektedir. Bu modülerlik sayesinde, işlem gereksinimlerini tatmin eden ve ekonomik olarak mümkün tam doğru çözümü uygulamak için bütün, üniform bir sistem kullanabilirsiniz.

SIMOTION ve SIMATIC, Tamamen Bütünleşmiş Otomasyona dayanarak birleşmişlerdir. Bu uyum iki yönde sağlanmıştır – SIMOTION SCOUT'un SIMATIC Manager'da bütünleşmesi ve kıyaslanabilir aktiviteler için aynı mühendislik felsefesinin kullanımı sayesinde. SIMATIC'te bulunmayan (hareket kontrolü, çıkış kam kontrolörü, vb.) veya dağıtılmış bir sistemin taleplerini karşılamak için SIMOTION tarafından ihtiyaç duyulan mühendislik süreçleri, en iyi kullanılırlık esas alınarak seçilmiştir. Buna ilave olarak, SIMOTION ProfiNET içerisine entegre edilmiştir ve bu amaç için gerekli tüm sistem özelliklerini içermektedir.

### 3.4 Donanım Platformları

SIMOTION çeşitli donanım platformlarını desteklemektedir. Hangi hedef sisteminin özel bir uygulama için ideal olduğu esasen ihtiyaçlara bağlıdır. Otomasyon görevleri de değişik hedef sistemlerine dağıtabilinir.




**Şekil 3.3:** SIMOTION donanım platformları

SIMOTION platformları:

- PC-tabanlı (**SIMOTION P3xx**)

Bu platform açık, PC-tabanlı teknolojisinden ötürü özellikle aşağıdaki gereksinimler için tavsiye edilmektedir:

  - PC dünyasına açıklık,
  - Bir donanım üzerinde kontrol ve görselleştirme,
  - Kapsamlı veri depolanması, değerlendirilmesi ve kaydedilmesi,
  - Uzaktan tanı koyma ve uzaktan kontrol becerisi

- Kontrolör-tabanlı (**SIMOTION C2xx**)

Bu platform modüler yapısı sayesinde esnek olarak kullanılabilir ve özellikle aşağıdaki gereksinimler için tavsiye edilmektedir:

  - Sürücülerin seçiminde muhtemel en büyük serbestlik,
  - Geniş bir işlem sinyalleri aralığı,

- Sürücü-tabanlı (**SIMOTION D4xx**)

Bu platform sıkıştırılmış yapısı sayesinde özellikle aşağıdaki gereksinimler için tavsiye edilmektedir:

  - Çok fonksiyonlu makineler,
  - Dağıtılmış otomasyon kavramları, örneğin, çok sayıda aks bulunan makineler,
  - Modüler makineler, aynı zamanda SIMOTION P veya SIMOTION C'ye ek olarak,
  - Akuple akslar üzerindeki zaman-sıkıntılı gereksinimler için.

### 3.5 SIMOTION SCOUT Mühendislik Hizmeti

SIMOTION SCOUT, SIMOTION hareket kontrol sistemi için mühendislik sistemidir ve önceden programlanmış çok çeşitli fonksiyonları bünyesinde sunarken, yeni parametreler atanabilir ve özel kullanımlar için programlanabilinir. Bunun için, gerekli mühendislik aşamaları için en iyi destek ve kullanım kolaylığı sağlayan yüksek-performans araçları gerekmektedir.

SIMOTION SCOUT mühendislik sistemi, SIMOTION ile üretim makinelerinin üniform otomasyonu için temel oluşturmaktadır ve TIA (Totally Integrated Automation, Tamamen Entegre Otomasyon) ile uyumlu olarak SIMATIC ortamına bütünleşmektedir.

SCOUT, otomasyon görevi için üniform ve işleve yönelik bir bakış açısı sağlamaktadır ve aynı zamanda kullanımı da çok kolaydır.

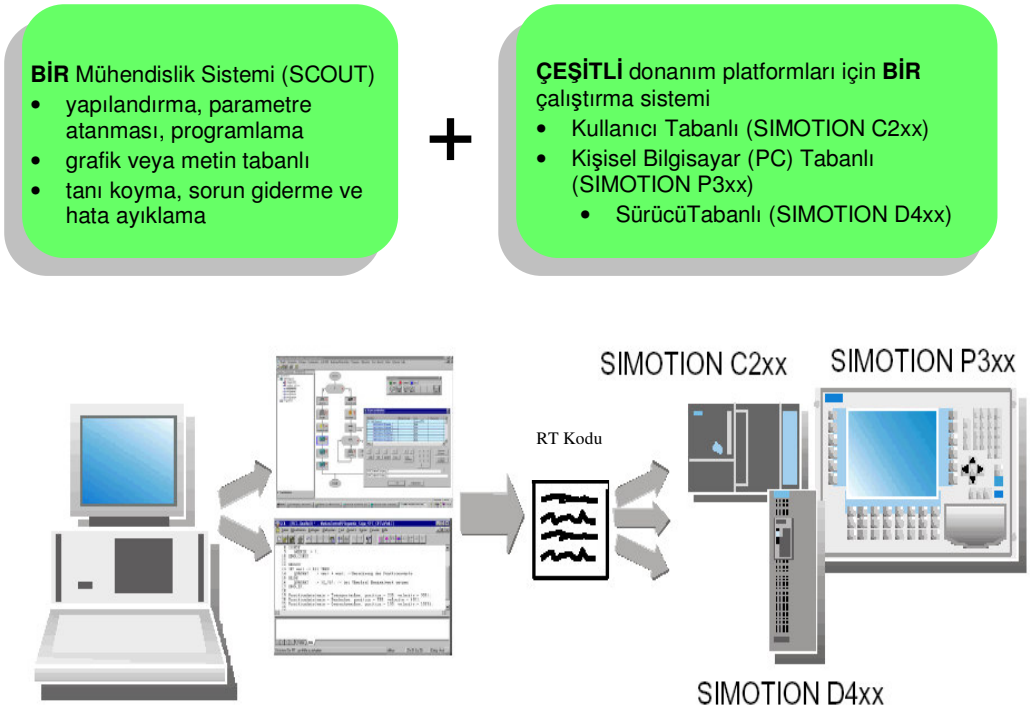
SIMOTION uygulamaları basitten başlayıp, parametreleştirilebilir, hız-kontrollü tek akslıdan karmaşığa, mekatronik olarak bağlı ve programlanabilir çok-akslı makinelere kadar bir alanı kapsamaktadır. Bu nedenle SCOUT, göreve uyarlanmış bakış açıları sunmaktadır ve ilave araçlarla genişletebilmektedir (örneğin, kamların grafiksel oluşturulması için araç).

SCOUT, STEP 7'ye entegre olan SIMOTION'ın mühendislik sistemidir ve aşağıdaki işlemler için gerekli her türlü aracı içermektedir:

- konfigürasyon,
- parametre atanması,
- programlama,
- test ve,
- tanı koyma

Aşağıdaki görevler, kullanıcı yardımı ile grafiksel olarak desteklenmektedir:

- donanım ve ağ yapılandırmasının yaratılması ve
- akslar, çıkış kamları ve kamlar gibi teknoloji nesnelerinin yaratılması, yapılandırılması ve parametreleştirilmesi




**Şekil 3.4:** SIMOTION sistemine genel bakış

Otomasyon topolojisini belirtmek; bileşenleri ve ağları parametreli hale getirebilmek için atılması gereken ilk mühendislik adımı, donanım ve ağ yapılandırmalarının oluşturulmasıdır.

SCOUT, bunu yapabilmek için STEP 7 araçları olan HW Config'i ve NetPro'yu kullanmaktadır. Donanım katalogundan seçim yapıldığında, ihtiyaç duyulan tüm donanım bileşenleri grafik olarak çalışma alanında bir araya getirilmekte, parametrize edilmekte ve ayrı bileşenler arasındaki yol bağlantıları oluşturulmaktadır. Bu yöntemle geçersiz seçenekler erken bir aşamada belirlenir ve dolayısıyla akla yatkın konfigürasyonlar oluşturulabilir.

SCOUT çalışma ortamı, mühendislik sisteminin diğer tüm araçları için ortak bir çerçevedir. SIMOTION projelerini oluşturmak ve yönetmek için kullanılmaktadır ve tüm verilerin ve programların üniform ve bütünleşik bir görüntüsünü sunmaktadır.

Performans özellikleri:

- Bütünleşik ve sezgisel olarak işletilen mühendislik sistemi,
- Dağıtılmış sistemler için dahi merkezi veri ve program yönetimi,

- Filtrelenebilir görüntülerle işleve yönelik, teknolojik proje yapısı,
- Yapılandırma, programlama ve görevlendirme gibi ayrı mühendislik araçlarına hızlı erişim

### 3.6 Programlama Dilleri

Teknoloji paketlerine ve fonksiyonlarına erişim, SIMOTION Kernel'e erişimle aynı şekilde kullanıcı programındaki dil komutları ile yapılmaktadır.

SCOUT'taki programlama dilleri, fonksiyonları kolayca ve hızlı bir şekilde uygulamak için gerekli tüm dil komutlarını sağlamaktadır. SIMOTION çalıştırma sistemi; döngüsel, ardışık, zaman-kontrollü ve olay-sonuçlu programlamayı da desteklemektedir.

Aşağıdaki programlama dilleri kullanılmaktadır:

- Hareket Kontrol Çizelgesi (MCC)

Programlama mantığı ve hareket kontrolü için grafik-tabanlı programlama dili. Ardışık akış şeması-yönelimli programlama için MCC kullanılabilinir.

- Merdiven Mantığı / Fonksiyon Blok Diyagramı (LAD/FBD)

Sözdizimi bir devre diyagramının ifadelerine karşılık gelen mantıksal fonksiyonların programlanması için grafik-tabanlı programlama dili. Hareket kontrol fonksiyonları, SIMOTION fonksiyon kütüphanesinden PLC açık fonksiyonları ile programlanabilir. LAD/FBD programları, sıklıkla döngüsel görevlerde kullanılmaktadır.

- Yapılandırılmış Metin (ST)

Hareket, mantık ve teknoloji programlaması için EIC1131-3 ile uyumlu metin tabanlı programlama dili. Bir ST kaynak kodu muhtelif programlar, fonksiyon blokları ve fonksiyonlar içerebilir.

Çeşitli programlama dilleri, tek bir projede birleştirilebilir.

Kullanıcı programı çeşitli görevlerde yürütülür. Görev, belirli bir kronolojik sırada yürütülen bir iştir. Görev sisteminin avantajı, uygun görev seviyelerinde sallanan süreçlerin paralel olarak çalışabilir olmasıdır.

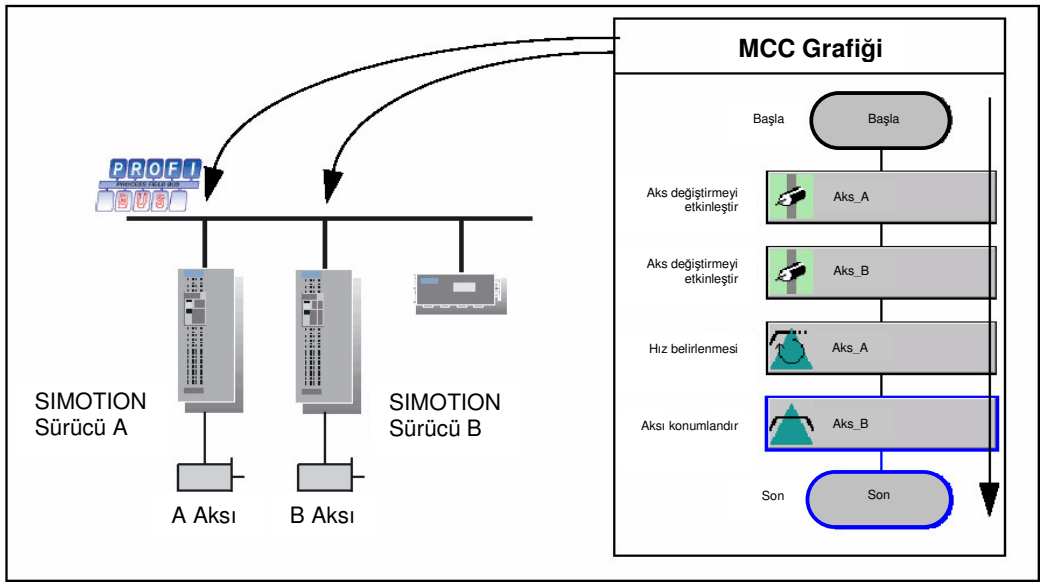
SIMOTION hareket kontrol sistemi, hızlı kontrol süreçleri için uygun olan gerçek zamanlı bir işletim sisteminin uygulandığı yüksek-performanslı merkezi işlemci birimleri (CPU) kullanmaktadır. Her bir göreve, hesaplama zamanının bir dilimi

tahsis edilmiştir. Görev sıralamasının organizasyonu işletim sistemi tarafından yapılmaktadır. Birbirinden bağımsız olan kullanıcı ve sistem görevleri arasında bir ayrım yapılmaktadır.

### 3.5.1 MCC ile grafik-tabanlı akış şeması programlama

MCC'nin arkasındaki fikir, makinedeki süreç sıralamasını basit ve mantıksal açıklamalar kullanarak formüle etmektir. Sonuç, ayrı hareketlerin kronolojik sıralamasını gösteren bir veya daha fazla akış şemasıdır. Üretim makineleri esas olarak çok sayıdaki ayrı aksın hareketini kontrol etmekle ilgili olduğu için; MCC, güçlü hareket kontrol komutları ile özellikle bu hareket sıralamasının basit tariflenmesini desteklemektedir.

Makineyi kontrol etmek için, koşulların yerine getirilmesinin beklemek ve hesaplamaları formüle etmek için ve hatta oylama (IF), durum belirleme (CASE) ve döngüler (FOR, WHILE, UNTIL) gibi muhtelif kontrol yapılarını yürütmek için komutlar bulunmaktadır. Değişik süreç durumlarını tarif etmek için muhtelif MCC programları oluşturulabilir. Örneğin, makineyi, açık konuma getirildiğinde tanımlanmış bir başlangıç durumuna ayarlayacak bir MCC programı oluşturabileceği gibi, normal üretim sıralaması için ikinci bir MCC programı ve hata meydana geldiğinde makinenin ne yapması gerektiğini belirten üçüncü bir MCC programı da oluşturulabilir.




**Şekil 3.5:** Üretim makinelerini otomasyona uygun hale getirmek için MCC

Tüm komutlar, komut gruplarına göre sıralanmış şekilde araç çubuklarında bulunmaktadır. Araç çubuğundaki bir komutun üzerine tıklanması, o komutu akış şeması üzerinde işaretlenmiş olduğu konuma otomatik olarak uygular. Akış şemasındaki bir komutun üzerine çift tıklanması, bu komuta parametre atanabilmesi için özel bir iletişim kutusunu açmaktadır.

Bir MCC grafiği ile bir program, bir fonksiyon bloğu veya IEC 61131-3 ile uyumlu bir fonksiyon oluşturabilinir.

Performans özellikleri:

- Akış şemalarındaki grafik-tabanlı gösterim nedeni ile kolay kullanım,
- Hareket kontrolü, PLC ve teknoloji fonksiyonları için hiyerarşik komut kütüphanesi,
- Kontrol yapıları (IF, WHILE; CASE, vb.)
- Farklı dillerde koşullar oluşturulabilir. Çizelge isteğe bağlı bir dilde görüntülenebilir. Yakınlaştırma özelliği ST'de iken, düz metin MCC'de oluşturulabilir,
- Bir komut modülü oluşturmak için komut sıralanmasının kombinasyonu gibi komut modülleri esaslı yapılandırma imkanı vardır. Komut modülüne tıklanması, ilgili komut sıralanmasını harekete geçirecektir.
- Çevrimiçi test ve tanı koyma için kullanımı kolay hata ayıklama fonksiyonları: Örneğin, tek aşamalı mod veya daha kolay hata yok etme için program durumu.

### 3.5.2 LAD/FBD ile Grafik - Tabanlı Programlama Dili

LAD/FBD, merdiven mantığı ve fonksiyon blok diyagramının kısaltmasıdır. LAD/FBD grafik tabanlı programlama dilleridir. Deyim sözdizimi, bir devre diyagramına karşılık gelmektedir. LAD/FBD girişler, çıkışlar ve işlemler vasıtası ile güç dilmeleri arasındaki sinyal akımının basit şekilde izinin sürülmesine olanak tanımaktadır. LAD/FBD deyimleri, grafiksel olarak ağlara bağlı olan elemanlardan ve kutulardan oluşmaktadır. LAD/FBD işlemleri, Boolean mantığının kurallarına uymaktadır.

Programlama dili, eksiksiz bir kullanıcı programının oluşturulması için ihtiyaç duyulan tüm elemanları temin etmektedir. Fonksiyonların ve fonksiyon kutularının tasarımı, LAD/FBD programını açıkça yapılandırmanıza olanak tanımaktadır.

LAD/FBD programlama paketi, temel SIMOTION yazılımının bütünleşik bir parçasıdır.

### 3.5.3 ST Yüksek Seviyeli Dil Programlaması

Günümüzde artık geleneksel döngü kontrol görevlerine veri yönetimi ve karmaşık matematik hesaplamaları içeren otomatik sistemler dahil edilmeye başlanmıştır. ST bu görevler için tasarlanmıştır

ST, yüksek-seviye, PASCAL-yönelimli bir programlama dilidir. Dil, programlama dillerini programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC) için standart hale getiren IEC 61131-3 standardı esaslıdır. ST bu standardın yapısal metin kısmı üzerine kurulmuştur.

Temel komut kapsamı, veri yönetimi, aritmetik fonksiyonlar, kontrol yapıları ve I/O erişimleri ile ilgili her şeyin yürütülmesi için yeterlidir. Hareket kontrolü için teknoloji paketlerinin eklenmesi, komut grubuna güçlü ve gayet esnek hareket kontrol komutları dahil etmektedir (örneğin; _pos(..) aks konumlandırması için).

Bunlara ilave olarak, uygulamalar istenilen sayıda parçaya bölünebilir. Bir parça; bir çalıştırma seviyesine tahsis edilmiş bir program, kendi hafızası olan ve örnekle desteklenebilir bir fonksiyon bloğu veya kendi hafızası olmayan bir fonksiyon olabilir. Bu durumda, fonksiyon blokları ve fonksiyonlar bir çalışma seviyesine tahsis edilmezler, fakat programlar içerisinde çağrılırlar.

Program hazırlama için kolay bir metin editörü mevcuttur. ST derleyicisi hazırlanan programı çalıştırılabilir koda dönüştürme, varsa hata uyarılarını kod satırı ve hata sebebiyle verme imkânı sunar.

Performans özellikleri:

- Tek bir dilde hareket kontrolü, PLC ve teknoloji fonksiyonları,
- Yorum kapasitesi olan iyi yapılanmış programlar
- Sözdizimi renklendirmesi ve otomatik paragraflama gibi güçlü düzenleme fonksiyonları,
- Online test ve tanı koyma için kullanımı kolay hata ayıklama fonksiyonları: Örneğin; editörde seçilen kod sıralamasının güncel değişken içeriğinin görüntülenmesi.

### 3.7 Yürütme Sistemi, Görevler ve Sistem Döngü Saati

Bütün programlar yürütme sisteminde oluşturulur. Yürütme sistemi, uygulama seviyeleri ve Simotion'daki kronolojik uygulama programlarının yapılarını sağlar.

- Sistem görevleri sistem tarafından düzenli olarak uygulanır ve çevrim saati özelleştirilebilinir.

Aşağıdaki görevler sistem görevleri tarafından uygulanır.

- İletişim

Sistem görevlerinin isochronous PROFIBUS ile bağlantısı için veya sistem çevrim saati ve I/O süreci için

- Hareket Kontrolü

Farklı isochronous uygulama seviyelerinin, ani çekilme hareket kontrolü, pozisyon kontrolü ve sürüş iletişimi için kullanılması uygundur.

Dijital sürüşlerde, bu uygulama seviyeleri isochronous PROFIBUS ile senkronize edilir. Analog sürüşler isochronous PROFIBUS olmadan, uygulama seviyeleri iç zamanlayıcıdan sistem çevrim saatinin ayarlanması ile sağlanır.

- Sıcaklık kontrolü

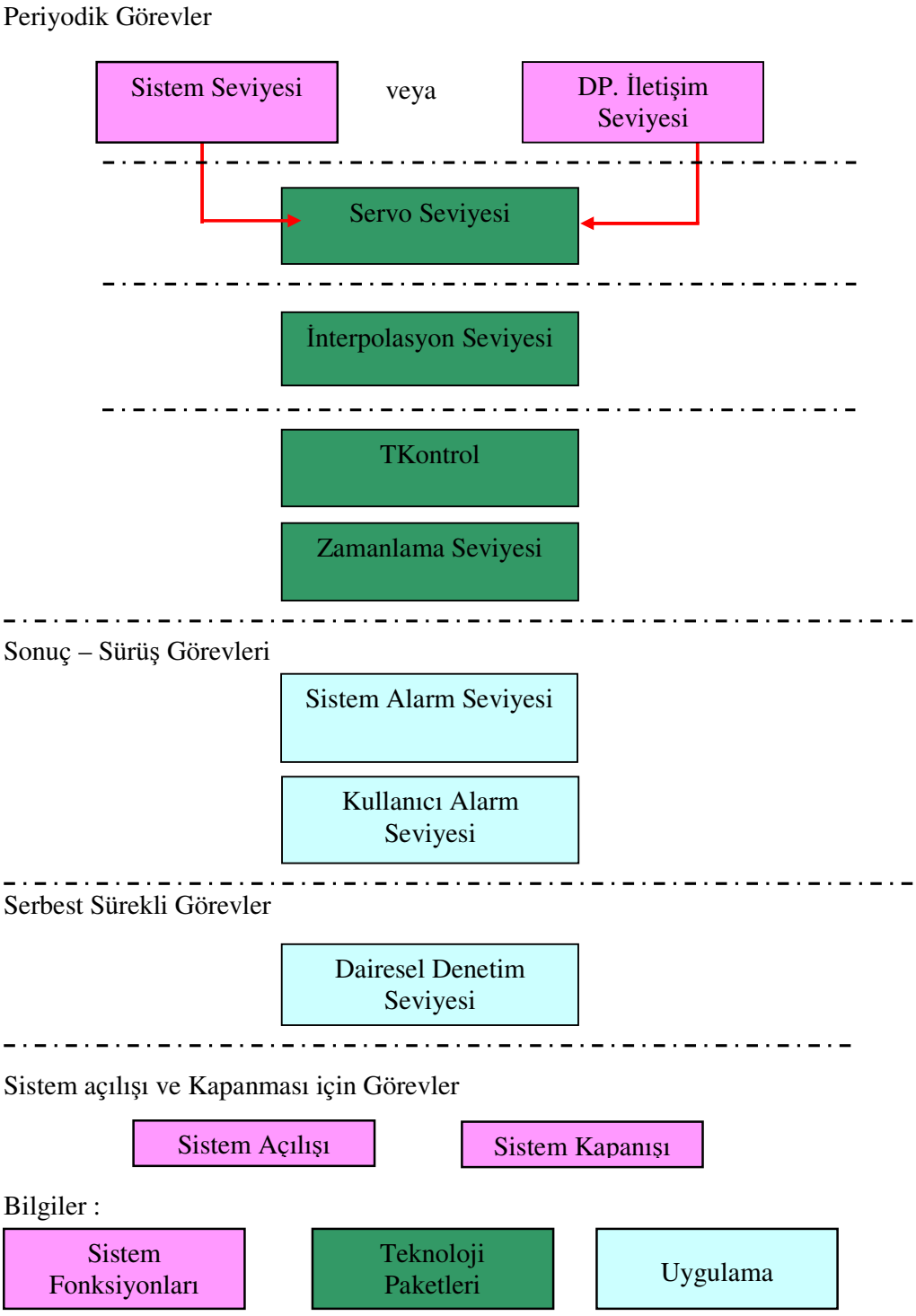
Tcontrol teknoloji paketi ile uygulama seviyeleri sıcaklık kontrolü için uygundur: Gerçek değer ölçümü, dıştan gelen sinyallerin genişliği kontrol edilir.

- Kullanıcı Görevleri: Programlama ile ilgili görev için uygulama seviyeleri: Hareket kontrolü, mantık ve teknolojik fonksiyonlar v.b.

#### 3.7.1 Uygulama Seviyeleri /Görevler

Uygulama seviyeleri, uygulama sistemindeki kronolojik program sırasına göre belirlenir. Her uygulama seviyesi bir veya daha çok görev içerebilir.

Görev, programlar için uygulama şemasından sağlanır ki her görev özel durumlar oluştuğunda uygulanır. Her göreve ve belirtilen görev sırasına bir veya daha fazla kullanıcı programı atanabilir. Kullanıcı görevleri yanında, çok sayıda sistem görevleri vardır ve içindekilere, uygulama sırasına etki edilemez. Şekil 3.6'da uygulama sisteminin basit yapısı gösterilmektedir.




**Şekil 3.6:** Uygulama sisteminin genel şeması

Teknoloji paketi kullanıldığı zaman, uygulama seviyeleri sistem tarafından otomatik olarak atanan değerlerle sağlanır. Bu uygulama seviyesinde teknoloji fonksiyonunun

sürecine kullanıcı programı etki etmez. Bir veya daha fazla görevler, her uygulama seviyesinde kullanıcı programı için uygundur.

Görevlerin ana özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

Başlangıç Durumu : Ne zaman ve hangi durumdaki görevin başlayacağı,

Öncelik : Bir görevin hangi görev tarafından kesileceği.

### 3.7.2 Başlangıç Durumu

SIMOTION, kullanıcılara çeşitli görevler sunar ve her bir görevin başlangıç. koşulu farklıdır.

- Periyodik görevler, kesin bir zaman çerçevesinde periyodik olarak çağrılırlar:
  - Eşzamanlı Görevler : Eşzamanlı görevler, özel sistem çevrim saatinden eşzamanlı olarak başlatılır.
    - IPOEşzamanlı Görev (IPOSynchronousTask) : IPO interpolasyon çevrim saati ile eşzamanlı
    - IPOEşzamanlı Görev_2 (IPOSynchronousTask_2) : IPO_2 interpolasyon çevrim saati ile eşzamanlı
    - PWMEşzamanlı Görev (PMWSynchronousTask) : PWM çevrim saati ile eşzamanlı (Tkontrol teknoloji paketi için)
    - Eşzamanlı Giriş Görevi_1/2 (InputSynchronousTask1/2) : Giriş 1/2 çevrim saati kapalı devre kontrolü önceliği ile eşzamanlı (Tkontrol teknoloji paketi için)
    - Ön kontrol Görevi_1/2 (PostControlTask1/2) : Kontrol 1/2 çevrim saati kapalı devre kontrolünden sonra eşzamanlı (Tkontrol teknoloji paketi için)

  Bu görevlerde, kritik zaman fonksiyonları, hareket kontrol eksenlerinin zamanlaması ile yakın ilişkili olarak uygulanmalıdır.

  - Zaman Kesmeli Görevi_1'den Zaman Kesmeli Görevi_5'e kadar (TimerInterruptTask) : Zamanla kesilen görevler, periyodik olarak başlarlar ve tanımlanan zaman çerçevesinde uygulanırlar. (örneğin 100 ms). Bu zaman çerçevesi IPO interpolasyon çevrim saatinin çarpımı olmalıdır.

Bu görevde, kapalı çevrim kontroller veya fonksiyonların denetlenmesi tamamlanmalıdır. Bu hareket kontrol eksenlerine doğrudan bağlı olmaksızın yeniden üretilen zaman referansında sağlanmalıdır.

- T kontrolü Görevleri

- Olaya dayalı görevler: Ardışık görevlerdir. Bir olay oluştuğunda ve sonlandırıldığında bir kez çalıştırılırlar.
  - Kullanıcı Kesmeli Görevi_1 (UserInterruptTask) : Bir durum ortaya çıktığında çağrılır ve birkez uygulanır. Kullanıcının tanımladığı durumlarda tepki verir. Bu görevler, sistemin başlangıcında ve bitişinde aktif değildir.
  - Kullanıcı Kesmeli Görevi_2
- Sistem Kesmeli Görevleri (SystemInterruptTask) : Bir durum ortaya çıktığında çağrılır ve birkez uygulanır. Hatalar, alarmlar gibi sistem durumlarına tepki verirler ve ayrıca sistemin başlangıcında ve bitişinde de aktiftirler.

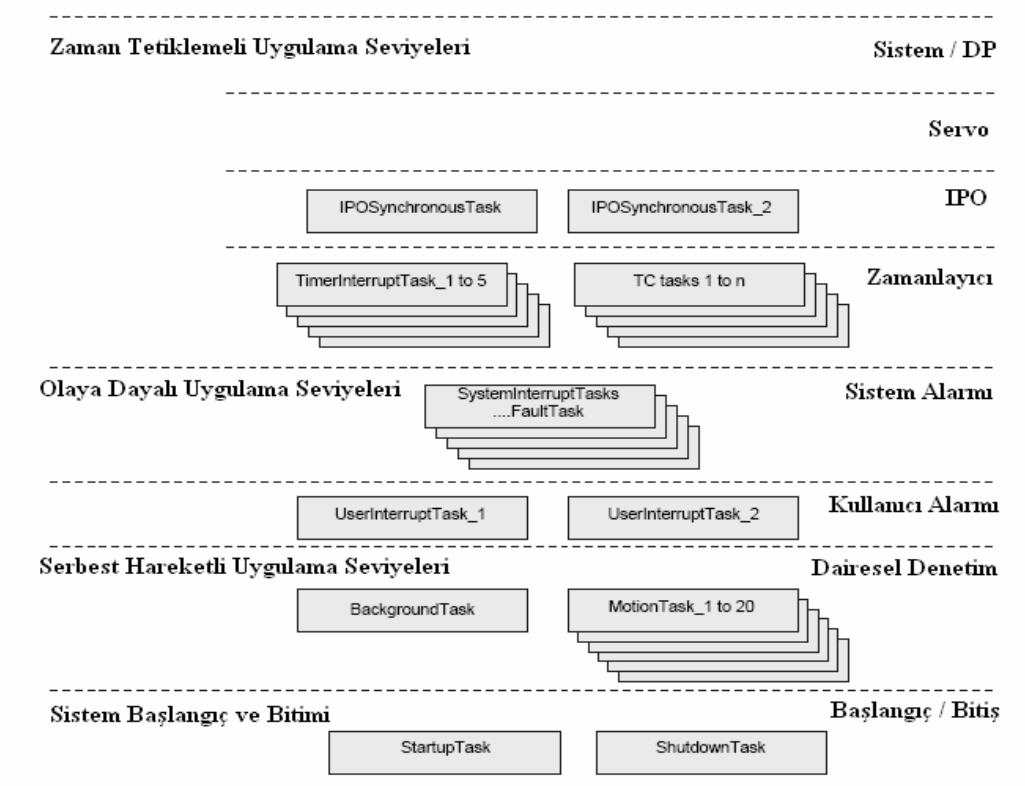
Farklı çağırma durumları için farklı görevler vardır :

- Yürütme Hata Görevi (ExecutionFaultTask) : Bir programın yürütülmesi sırasında oluşan hata.
- İkincil Hata Görevi (PeripheralFaultTask) : I/O'lardaki hata.
- Teknolojik Hata Görevi (TechnologicalFaultTask) : Teknoloji objesindeki hata
- Arkaplan Zaman Hatası Görevi (TimeFaultBackgroundTask) : Arkaplan görevinde zaman aşımı.
- Zaman Hatası Görevi (TimeFaultTask) : Zamanla kesilen görevin zaman aşımı.

- Serbest hareketli görevler, arka planda çalışan sistem işlemleridir (Dairesel denetim seviyesi) : Yüksek öncelikli sistem görevlerinin ve kullanıcı görevlerinin yürütülmesinden arta kalan zamanı Arkaplan ve Hareket görevleri paylaşır. Her iki seviyedeki zaman dilimleri arasındaki ilişki belirlenir.
  - Hareket Görevleri (MotionTask) : Hareket görevleri kullanıcı tarafından başlatılır ve sıralı görevler tamamlandıktan sonra bir kez uygulanır. Örneğin, sıralı bir uygulamada, bir eksen hedef pozisyonuna ulaştığında, uygun sinyal için bekler ve sinyal geldikten sonra bir sonraki hedef posizyonuna geçer.

- Arka plan Görevi (BackgroundTask): Arka plan görevi periyodik bir görevdir. Arkaplan görevindeki programlar bir kere yürütüldükten sonra, program uygulaması otomatik olarak yeniden başlatılır.Görevin döngü zamanı çalışma zamanına bağlıdır ve uygulama zamanı denetlenir. Arkaplan görevi döngüsel olarak çalıştırılan programlar tarafından kullanılır; örneğin, birbirine bağlanan görevler, PLC görevleri.

- Sistemin başlaması ve durması esnasında otomatik olarak çağrılan görevler :
  - Başlangıç görevi başlangıç esnasında çağrılır (StartupTask) : Başlangıç görevi, Stop veya Stop U modundan Run moduna geçişte bir kere uygulanır. Teknoloji nesnelerinin başlangıcı ve yeniden başlatılması için kullanılmaktadır
  - Bitiş görevi stop moduna geçişte çağrılır (ShutdownTask) : Kapanma görevi, Run modundan Stop veya Stop U moduna geçişte bir kere uygulanır.




**Şekil 3.7:** Yürütme seviyelerindeki kullanıcı görevlerine genel bakışı

### 3.7.3 Görev Öncelikleri

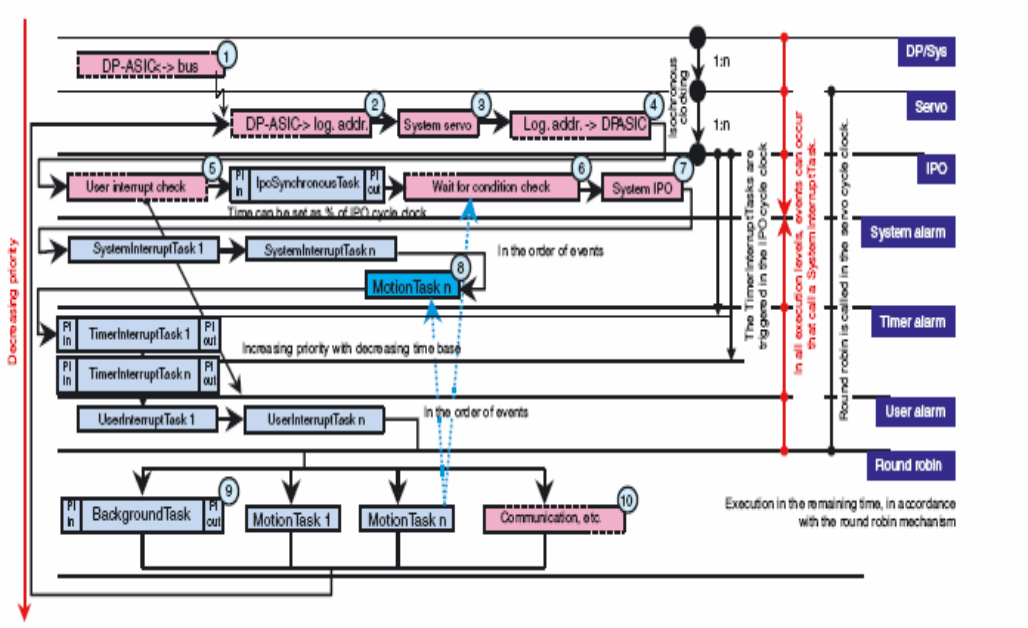
Görevler ve program atamaları net bir zaman içinde başlatılır ve yürütülür. Eğer aynı anda birden fazla görev çağrılmışsa, hangi programın birinci olarak yürütüleceğine görevlere tanımlanmış önceliklerden belirlenir.

**Tablo 3.1:** Görev Önceliklerine Genel Bakış

| Öncelik | Uygulama Seviyesi | Görev | Periyodik /Ardışık | Anlamı |
|---|---|---|---|---|
| Yüksek | Servo, DP iletişimi | - | P | |
| | IPO | IPO senkronize görevi<br>o Kullanıcıdan kesilenlerin kontrolü<br>o Kullanıcı programı IPO Senkronizasyon Görevi<br>IPO Görevi<br>o Bekleme durumu için kontrol edilmesi (IPO sistemi) | P<br><br><br><br>P | Çevrim saati enterpolasyonu<br><br><br><br>Sistem Görevi Ipo çevrim saati için |
| | IPO_2 | IPO Senkronize Görevi_2<br>IPO Görevi2 | P<br>P | Çevrim saati enterpolasyonu 2<br>Sistem Görevi Ipo çevrim saati 2 |
| | Tkontrol Görevi | PWM Senkronize Gör.<br>GirişSenkronize Görevi_1<br>GirişSenkronize Görevi_2<br>Ön kontrol Görevi_1<br>Ön kontrol Görevi_2<br>Sistem görevlerinin birleştirilmesi | P<br>P<br>P<br>P<br>P<br>P | Sıcaklık kontrolleri görevleri |
| | Sistem Kesmeli Görevler | Zaman Hatası Görevi<br>Arkaplan Zaman Hatası Görevi<br>Teknolojik Hata Görevi<br>İkincil Hata Görevi<br>Yürütme Hata Görevi | A<br>A<br>A<br>A<br>A | Sistem alarmları<br>(durumlar için) |
| | Zaman Kesmeli Görevler | Zamanla Kesmeli Görev_1<br>.....<br>Zamanla Kesmeli Görev_5 | P<br><br>P | Zaman alarmları |
| | Kullanıcı Kesmeli Görevler | Kullanıcı Kesmeli Görev_1<br>Kullanıcıdan Kesilen Görev_2 | A<br>A | Kullanıcı alarmları (durumlar için) |
| Alçak | Dairesel Denetim | Arkaplan Görevi<br>Hareket Görevi1<br>...<br>Hareket Görevi20 | P<br>A<br>...<br>A | Kullanıcı görevleri<br>(Sıralama özelleştirilemez.) |

### 3.7.4 SIMOTION'da Çalışma Modeli

Şekil 3.8'de SIMOTION'daki genel sıra ve aşağıdan yukarıya doğru görevlerin önceliklerini göstermektedir.




**Şekil 3.8:** SIMOTION çalışma modeli – genel sıra ve öncelikler
(ekran dp,servo ve 1:1:1'in IPO arası bir orana başvurmaktadır)

Renkler : açık mavi :Kullanıcı için müsait
pembe koyu : Kullanıcı tarafından kullanılamaz (sistem görevleri)

Sistem Görev Tanımları

1. DP-ASIC <-> bus : Veri, iletişim çiplerinden PROFIBUS'a kopyalanır veya PROFIBUS'tan getirilir. Kopyalama sonunda lojik adreslerdeki I/O girişlerin transferi başlatılır.

Kopyalama kendi işlemcisinde çalışır ve dolayısıyla kalan işlemlerle senkronize değildir. Senkronizasyon noktası veri yolu ve ASIC arası data değişiminin bitiş noktasıdır.

2. DP-ASIC -> log. addr. : I/O girişleri iletişim çipinden yüklenir

3. System servo : Servo çevrim saatinde sistem hesaplamaları yapılır (konum kontrolü gibi).

4. Log. addr. -> DP-ASIC : I/O çıkışları iletişim çipine yazılır.

5. Kullanıcı Kesme Kontrolü : İki kullanıcı kesme durumları kontrol edilir.

6. Durum Kontrolü için Bekleme : Bekleme kontrolleri için (sinyal için bekleme, eksen için bekleme gibi) durumlar kontrol edilir.

7. System IPO : IPO çevrim saatine ait sistem tarafındaki birimler hesaplanır.(konumlama profilleri,senkron işlemler gibi)

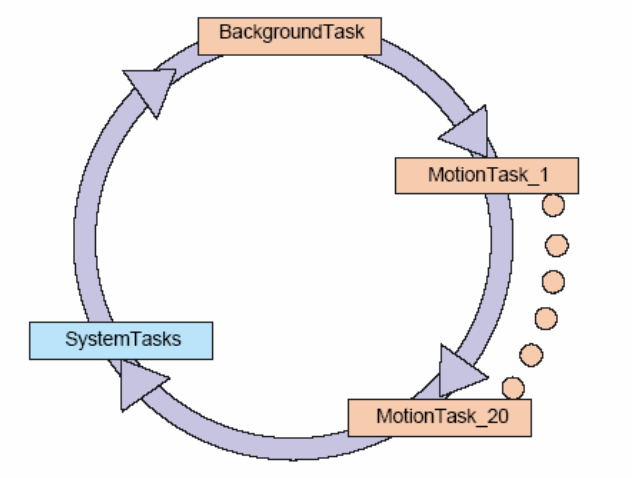
8. Hareket Görevi n : WAITFORCONDITION ile bekleyen hareket görevi durum oluşunca tercihe göre anahtarlanır (yüksek öncelikle).

9. Arkaplan Görevi : Arkaplan görevi burada çalışır. Başlangıçta arkaplan işleme imaj (PI) güncellemesi yapılır ve bu arkaplan görevi bitişinde tekrarlanır. Çalışma modeli giriş imajı okunması ve çıkış imajı yazılması esnasında normal olarak bir kaç kez çalışır. Kullanıcı programının boyutuna göre arkaplan görevi bir kaç kez kesilir.

10.İletişim : İletişim Fonksiyonları (HMI, PG/PC, gibi.).

### 3.7.5 Dairesel Denetim Yürütme Seviyesinde Zaman Ataması

Kullanıcı ve sistem, yüksek öncelikli görevlerden arda kalan zamanı hareket ve arkaplan görevleri için kullanır. Bu zaman ayrımı zaman dilim prensibine (dairesel denetim) göre yapılır.




**Şekil 3.9:** Dairesel Denetim yürütme seviyesinde zaman atamasının genel görünüşü

- Zaman Dilimleri

Servo çevrim saati kadar kalan zaman bir zaman dilimidir. Arkaplan ve hareket görevi bir zaman diliminde işlenir.

Dairesel denetim seviyesindeki görev tamamlanınca veya görev işlem için beklemek zorunda kaldığında bir sonraki görev devreye sokulur; örneğin bir zaman diliminde birkaç dairesel denetim işlemi anahtarlanabilir. Hareket ve arakaplan görevleri arasındaki zaman dilimi oranları değiştirilebilir; örneğin hareket görevi iki zaman dilimi, arkaplan görevi bir zaman dilimi olabilir. Arkaplan ve hareket görevleri arası zaman paylaşımı bu görevlerin paralel yapılmasını sağlamaktadır.

- Ek Görevler

Kullanıcı görevleri olan hareket ve arkaplan görevlerine ek olarak dairesel denetim de zaman hesaplayan sistem görevleri de dairesel denetim katmanında çalışır.

- Sıralama

Genelde görevler dairesel denetimin döngüsünde başarıyla çalışır. Sıra belirleyici değildir ; örneğin yüklemeye ya da enerji açmaya göre her seferinde değişebilir.

- Zaman ayırımı

Bir görev hesap zamanını bir sonraki göreve transfer etmeden önce (çalışma zamanını devre dışı bırakarak) belli sayıda servo çevrim saati başarıyla çalıştırır. Ancak hiçbir işlem yoksa direkt bir sonraki göreve transfer olur.

Dairesel denetimde tüm görevlere elle müdahale edilirse ilk görev tekrar başladığında tüm görevler tekrar aktif olur.

Hiçbir kullanıcı programının yürütülmediği zamanlar vardır. Bu hareket ya da arkaplan görevlerinin çok kısa olduğundan kaynaklanır. Kalan bu zamanları sistem görevleri kullanır.

- Yeniden başlatma / işlem imajı

Bitişten sonra arkaplan görevi işlem imajı güncellenmedikçe tekrar başlamaz. Güncelleme servo görevinde (ServoTask) yapılır.

- Performans

Hareket görevindeki sürekli bir döngü, bekleme ve senkronize komutları olmayan, hareket görevinin maksimum zaman hesaplamasına neden olur. Sonuçta arkaplan görev döngüsü kullanılmış olunur (hesaplanan sürenin büyük bölümü hareket

görevine gitmiş olur.). Sonuçta dairesel denetimdeki sistem görevleri daha uzun aralıklarla çağrılmış olur ve bu da iletişimi etkileyebilir.

Hareket ve arkaplan görevleri için dairesel denetim seviyesinin atamasında arkaplan görevi tam bir dairesel denetim döngüsünde en az bir zaman dilimi isterken hareket görevi iki zaman dilimi ister (örneğin bunlar sürekli bir döngüden dolayı istenirse.)

- Periyodik Hareket Görevleri

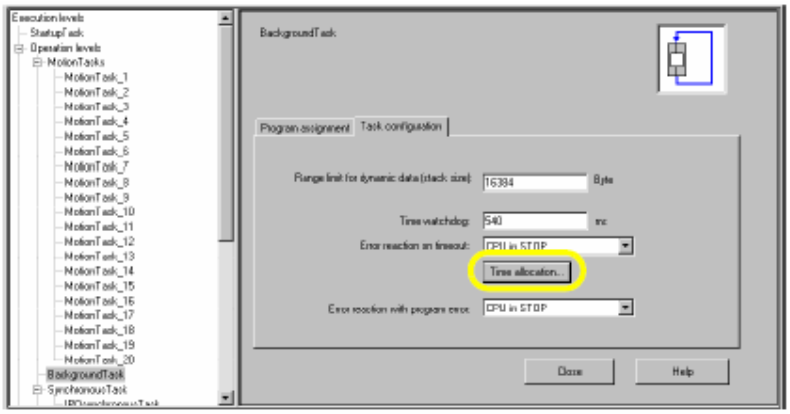
Hareket görevlerinde sürekli döngü kullanmak istenirse her döngüde bir bekleme süresi belirlenir. Böylece hareket görevi bir sonraki hareket görevine geçer.

Döngü içeren hareket görevleri dairesel denetimin iki tam servo döngü saatine ihtiyaç duyduğu için fazla yükleme yaparlar.

Hareket görevinin periyodik olması için görevi normal şekilde bitirip farklı bir görevden tekrar başlatmak en iyisidir. Bu döngü ya da program başı bir basamak komutu vermekten daha iyidir. Bu çalışma esnasında yükleme için de zaman avantajı sağlar

### 3.7.6 Zaman Atamasının Kurulması

Hareket ve arkaplan görevlerinin zaman atamaları için kaydırıcı kullanılabilir. Bu kaydırıcı ile arkaplan görevlerinin dairesel denetimin diğer görevlerine göre ağırlığını belirlemek için kullanabilinir.



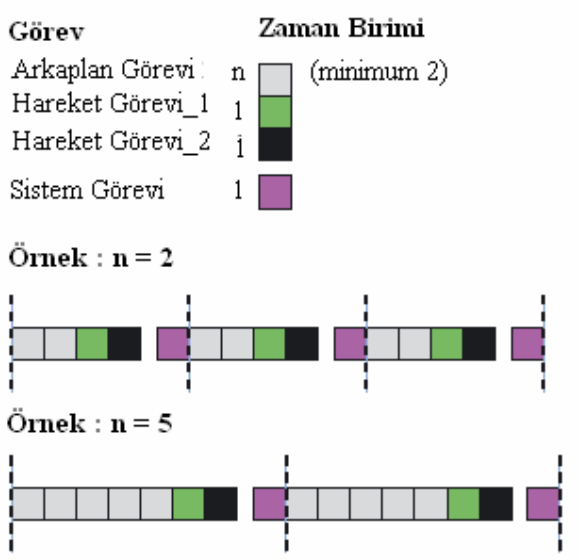

**Şekil 3.10:** Scout programındaki görev konfigürasyonu

Dairesel denetim yürütme seviyesinde zaman belirleme işlemi hareket veya arkaplan görev ekranından konfigurasyon özelliğinden yapılır (Şekil 3.10).

**Tablo 3.2:** Hareket veya Arkaplan Görevlerine zaman belirleme hesaplarının etkisi

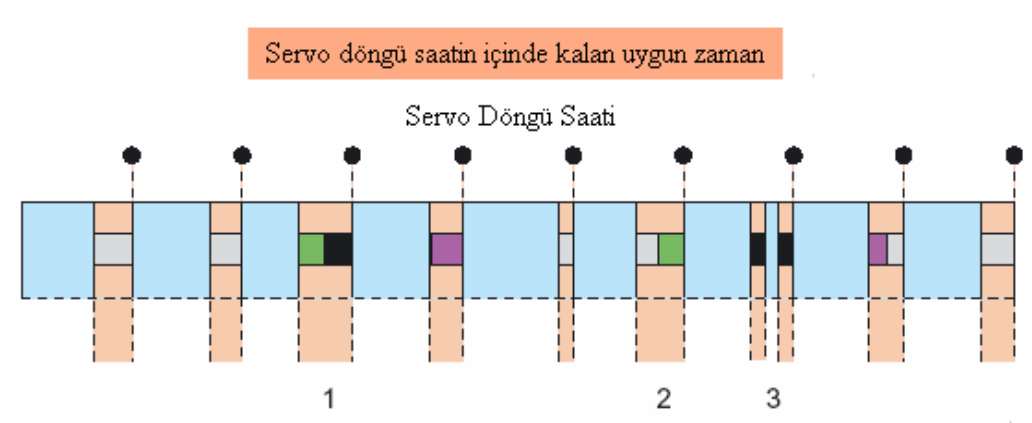
| **Artırılan Hesaplama Zamanı** | **Etki** |
|---|---|
| Hareket Görevleri | Arkaplan görevi başlangıçtan bitişe kadar daha fazla zaman sürer. Beklenmedik durumlarda zaman ekranı tepki verir. |
| Arkaplan Görevleri | Bazı durumlarda hareket görevlerindeki programlar daha uzun sürer |
| Arkaplan görevi için belirlenen süre aynı zamanda iletişim için gereken zamanı da içerir.(profıbus üzerinden) | |

Şekil 3.11'de, arkaplan görevlerine birkaç zaman dilimi ayrıldığı durumda dairesel denetim aşamasındaki görevler için basitleştirilmiş kronolojik işleme sırasını göstermektedir.




**Şekil 3.11:** Dairesel Denetimde görev yürütmenin basitleştirilmiş sunumu

Şekil 3.12'de arkaplan görevine iki zaman dilimi ayrıldığındaki şematik kronolojik sırayı göstermektedir.




**Şekil 3.12:** İki zaman dilimli Arkaplan Görevi için kronolojik sıra

Şekil 6.7'deki numaraların açıklaması şu şekildedir:

1-Zaman dilimi başlangıcında başlayan hareket görevi askıya alınınca aynı zaman diliminde bir sonraki hareket görevi başlar.

2-Arkaplan görevi bitince bir sonraki hareket görevi aynı zaman diliminde anahtarlanır.

3- Hareket görevi yüksek öncelikli bir görev tarafından durdurulabilir.

### 3.8. Teknoloji Paketleri

Teknoloji paketleri, SIMOTION kernel'in temel fonksiyon kabiliyetini genişletmek için çalışma sisteminden yüklenebilir. Teknoloji paketleri ya da teknoloji nesneleri hareket kontrol komutlarının geniş aralığından faydalanarak esnek uygulamalar için daha uygun çözümler bulmayı sağlar.

Teknoloji paketleri Kam, Kam_dış ve Sıcaklık Kontrol olmak üzere üç ana bölüme ayrılır.

Kam : Kam teknoloji paketi eksen kontrolü için ( eksen hız kontrolü, eksen pozisyon kontrolü ve senkron eksen) fonksiyonlar ve değişkenler içerir. Ek olarak, kuplaj ekseni senkronize ve desenkronize etmek için kullanılan teknoloji paketi kam nesneleri ve fonksiyonları dişli veya bir kam kullanılarak kuplaj yapılabilir.

"Çıkış kam", "çıkış kam izi", "ölçme birimi" ve "dış encoder" gibi teknoloji nesneleri de bu paketin içindedir.

Kam_dış : Teknoloji paketi kam_dışın desteklediği fonksiyonlar ve nesneler:

- Eklenilen nesne : eklenilen nesne ile dört giriş hareket vektörü bir çıkış hareket vektörüne toplanabilir.
- Formül nesnesi : Matematik fonksiyonları kullanılarak hareket vektörü hesaplanabilir.
- Sabit dişli : eksenler arasında sabit kuplaj ilişkisi oluşturulabilir.
- Sensor : Sensor değeri görüntülenebilir ve hareket vektörü hesabı için kullanılabilir.
- Kontrol nesnesi : PID algoritması ile çıkış değeri hesabında çeşitli giriş değerleri kullanılabilir.

Sıcaklık Kontrol: Sıcaklık Kontrol teknoloji paketinin esas parçası makineler için sıcaklık kontrolüdür, özellikle plastik makinelerde. Sıcaklık kontrolü, limit değer gözlemi gibi pek çok fonksiyon ile elle çok kolay bir şekilde uygulamaya adapte edilebilen bir DPID kontrolörüne dayanır.

### 3.8.1 Senkron İşlemler

Bir senkron operasyon teknoloji nesnesi, senkron operasyon fonksiyonlarını aktive eder. Giriş ucunda ana değer sağlayan bir teknoloji nesnesine, çıkış ucunda kalıcı olarak senkron eksene bağlanır.

Ana eksen (master), özel kriterlere (dişli oranı, ölçekleme, sapma, kam) göre senkron nesne tarafından işlenen bir ana değer üretmek ve takip eden eksene referans değer olarak atamak için kullanılır.

- Mekanik Model

  Bir senkron grup için mekanik model örneğin tahrik tekerleği ve çıkış tekerleği veya çıkış tekerlekleri olan bir dişlidir.

  Kam için model, mekanik kam ve örnekleme mekanizması olan bir kam dişlisi olabilir.

  Takip eden hareketi aktive veya deaktive eden bir kuplaj da bir model olarak kullanılabilir.

- Senkron Operasyon Fonksiyonları

  Aşağıdaki senkron operasyon fonksiyonları geliştirilebilir:

  - Dişli çarklar sistemi (doğrusal kuplaj)
  - Hız dişli çarklar sitemi (doğrusal kuplaj)
  - Kam (kuplaj olarak kam ile birlikte)

- Senkronizasyon

  Senkronizasyon veya desenkronizasyon sırasında ana değere kuplaj uygulamaya göre tanımlanır.

  Aşağıdaki etkenler tarafından tanımlanır:

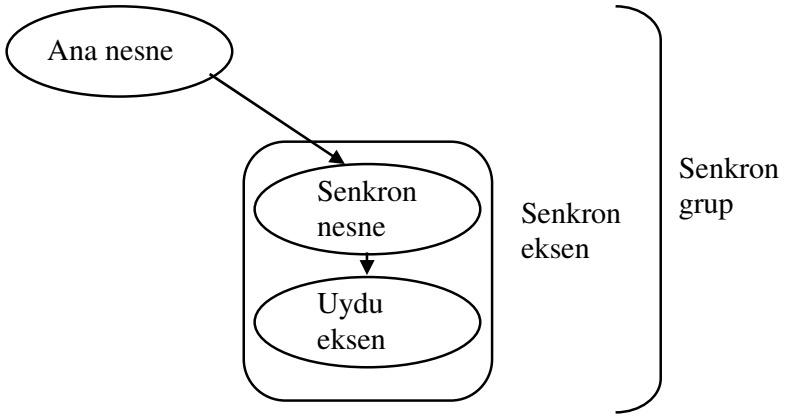
  - Senkronizasyon referansı,
  - Senkronizazyon noktası,
  - Senkronizasyonun başlangıcı.

- Nesneler

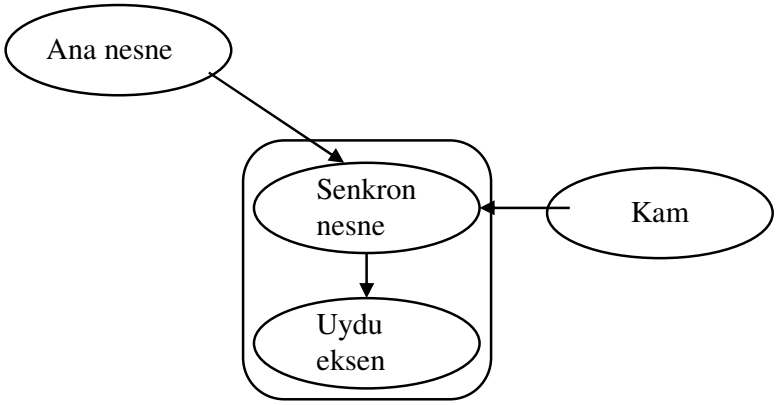
  Bir senkronizasyon grubu aşağıdaki elemanlardan oluşur.

  - Ana değeri sağlayan bir ana nesne (teknoloji nesnesi), örneğin bir konumlandırıcı eksen veya harici encoder
  - Aşağıdakileri içeren bir senkron eksen
    - Takip eden eksen (uydu)
    - Bir senkron nesne

  Bu, üzerinde senkron operasyon teknolojisi aktif edilebilen bir teknoloji nesne (TO) eksenidir. Bir senkron nesne, senkron operasyon ile bir eksen yaratıldığında ayrı bir bir nesne olarak otomatik olarak yaratılır.




**Şekil 3.13:** Dişli çarklar sisteminde nesne




**Şekil 3.14:** Kamda nesne

- Bir senkron eksenin yapısı ve çalışma karakteristiği

  Eksen ve senkron operasyon teknoloji nesneleri birbirleri üzerinde, operasyon modları ve işlemdeki komutlara göre değişen karşılıklı etkiye sahiptir. Bu yüzden, eksen teknolojisindeki hatalar senkron operasyon fonksiyonlarını doğrudan etkiler. Eğer eksenin durdurma tepkisi tetiklenirse senkron hareket de durdurulur.

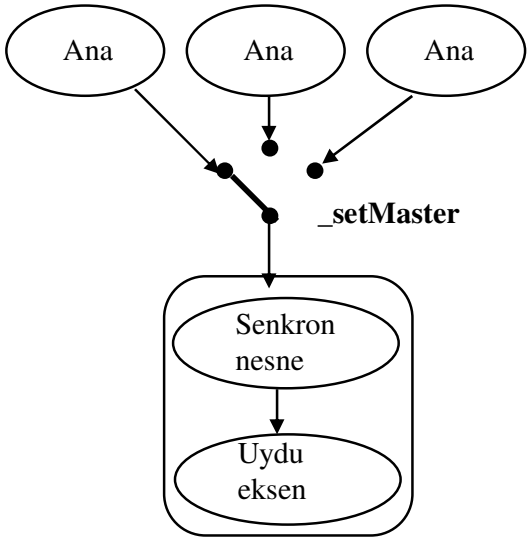
  Eğer sadece senkron nesne üzerinde bekleyen bir hata varsa takip eden nesne hala konum alabilir ama senkron operasyon gerçekleştirilemez.

- Ana (master) değer

  Ana değer aşağıdaki teknoloji nesneleri ile belirlenebilir.

  - Eksen
  - Harici encoder
  - Sabit dişli
  - Toplama nesnesi
  - Formül nesnesi

  Uydu (slave) eksen, bir senkron nesne olarak, çeşitli ana değerlere bağlanabilir, ama sadece bir ana değer hesaba alınır. _setMaster komutu ile program içinde başka bir ana değere geçilebilir.



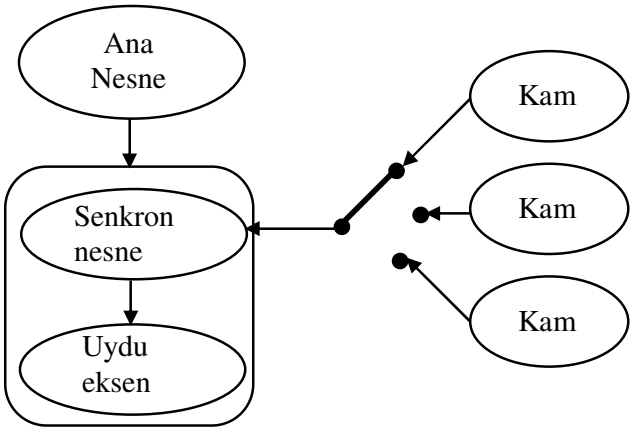

**Şekil 3.15 :** Çeşitli ana değeri ile senkron nesnesi

- Birimler

  Ana ve uydu değerler geçerli atanmış birimlerde fiziksel çevirim yapılmadan eşleştirilir. Eğer, örneğin, yönlendirici eksen doğrusal bir eksense (birim olarak mm) ve takip eden eksen dönen eksense (birim olarak derece) çevrim oranı 1:1 olmak üzere bir milimetre bir dereceye karşılık gelir.

- Kam kuplajı

  Dişli çark sistemi ile birkaç kam birlikte kullanılabilir. Kullanıcı programında _enableCamming komutu ile dinamik olarak başka bir kama geçilebilir.




**Şekil 3.16:** Çeşitli Kamlar ile Dişli Çark Sistemine Örnek

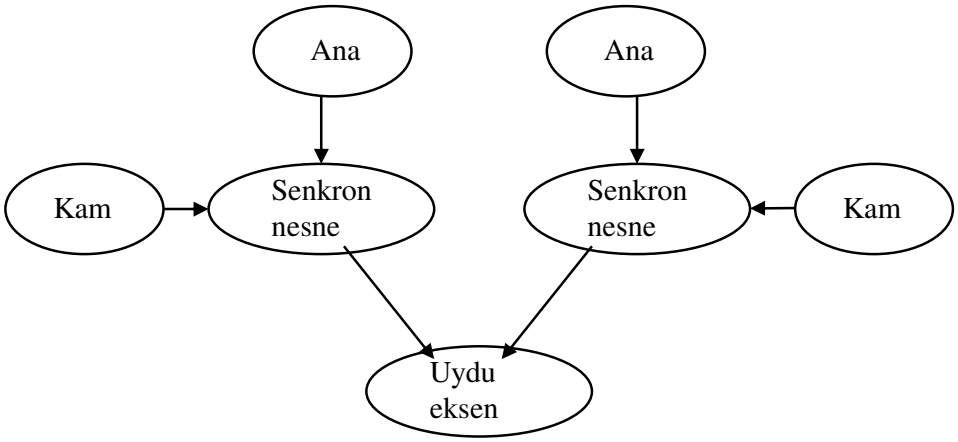
- Karşılıklı bağlantı kuralları

  Aşağıdaki kurallar senkron operasyon için geçerlidir:

  - Senkron nesne ve uydu eksen aynı çalışma sistemi üzerindedir.
  - Ana nesne ve senkron eksen farklı çalışma sisteminde olabilir. Bu durumda, dağınık senkron operasyonundan bahsederiz.
  - Ana eksen ve senkron eksenin farklı IPO çevrimlerinde çalıştığı senkron operasyonlar desteklenmelidir.
  - Senkron nesne ve takip eden eksen kurulum sırasında geçici olarak birbirlerine atanır.
  - Ana değer nesnesi (konumlandırma ekseni, sanal eksen, senkron eksen veya harici enkoder) çeşitli senkron nesnelere bağlanabilir.
  - Senkron nesne çeşitli ana değerlere ve kamlara bağlanabilir.

- Üst üste senkron operasyonu

  Üst üste senkron operasyonda, iki senkron nesne bir uydu eksene bağlanabilir.




**Şekil 3.17:** Üst üste senkron operasyon örneği

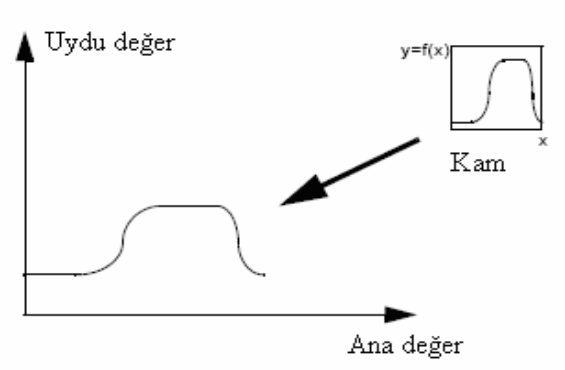
### 3.8.2 Kam işlemi

Kam işlemi, ana değer kaynağı ve uydu eksen/eksenler arasındaki değişken bağlantı ile karakterize edilir. Bağlantı bir kam (transfer fonksiyonu) ile tarif edilir.

Aktif kamın sonunda kam değişimi gibi, kamın içindeki bir pozisyona senkronizasyon da mümkündür.

- Cevap karakteristiği

Kam işlemi için cevap karakteristiği kamın tekli veya çoklu kullanımı ile kendini gösterir.




**Şekil 3.18:** Kam işlemi için cevap karakteristiği

$$y = f(x) \qquad \textbf{(7.1)}$$

y: Uydu değer

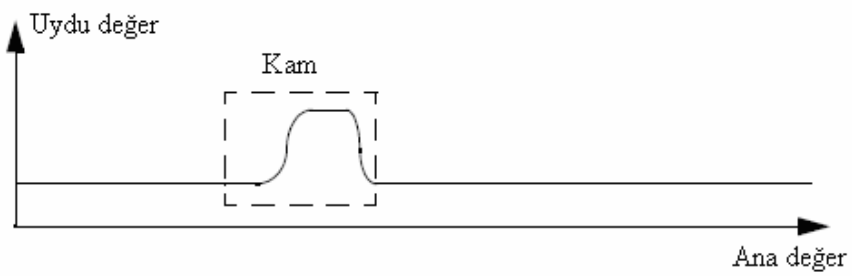
x: Ana değer

- Çevrimsel olmayan veya çevrimsel uygulamalar

  _enableCamming komutunun cammingMode parametresi kamı çevrimsel olmayan veya çevrimsel uygulama olmaya ayarlamak için kullanılabilir.

  - Çevrimsel olmayan kamın kesinlikle bir sefer kullanıldığı anlamına gelir. Kamın bitiş ya da başlangıç noktasına gelindiğinde, kam kendisini sonlandırır.

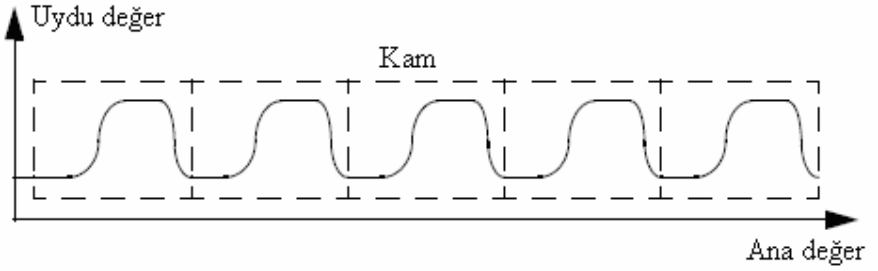
    Kam, belirlenmiş ana aralıktan sadece bir kez geçirilir. Eğer ana değerler aynı yönde geçirilirse (modülsel çevrim ekseni), kam tekrar geçirilmez ve deaktive edilir. Bu durumda hareketin bağıl veya mutlak olması geçersizdir.




**Şekil 3.19:** Çevrimsel olmayan kam uygulaması

- Kamın çevrimsel uygulaması ile kamın tanım aralığı çevrimsel olarak ana değerlere eşleştirilir.

  Bir kam çevrimi tamamlandığında, hemen başka bir tanesi eklenir.




**Şekil 3.20:** Çevrimsel kam uygulaması

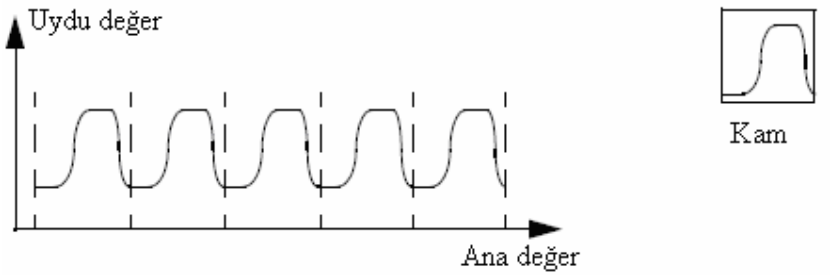
- Mutlak ve bağıl senkron operasyon ile çevrimsel kam uygulaması

Çevrimsel kam uygulamalarında, mutlak çevrim ile bağıl çevrimi birbirinden ayırmak gereklidir.

- Çevrimsel kam uygulaması: Mutlak

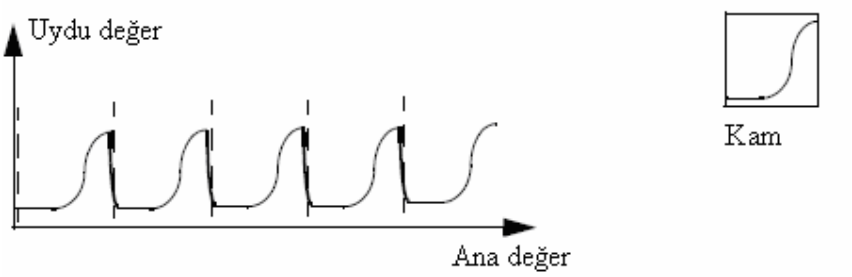
Kamın fonksiyon değerleri mutlak referanslar olarak yorumlanır.

- Eğer kamın fonksiyon değerleri tanımsal aralıkların başlangıcında ve bitişinde aynıysa veya modülsel ilişki içinde eşitse, periyodik bir hareket oluşur.




**Şekil 3.21:** Aynı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması

- Eğer kamın fonksiyon değeri tanımsal aralığın başlangıcında ve bitişinde aynı değilse veya modülsel ilişki içinde eşit değilse, eksen maksimum değerlerine sıçrar.

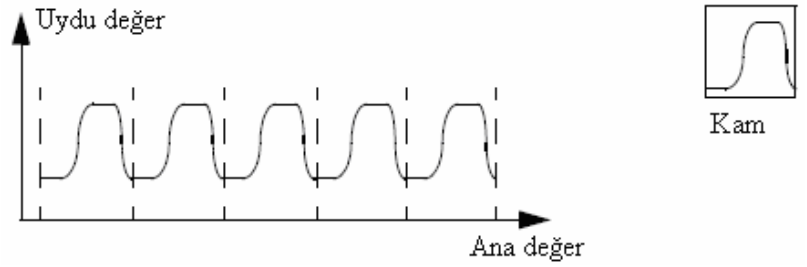



**Şekil 3.22**: Farklı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması-Mutlak

- Çevrimsel kam uygulaması: Bağıl

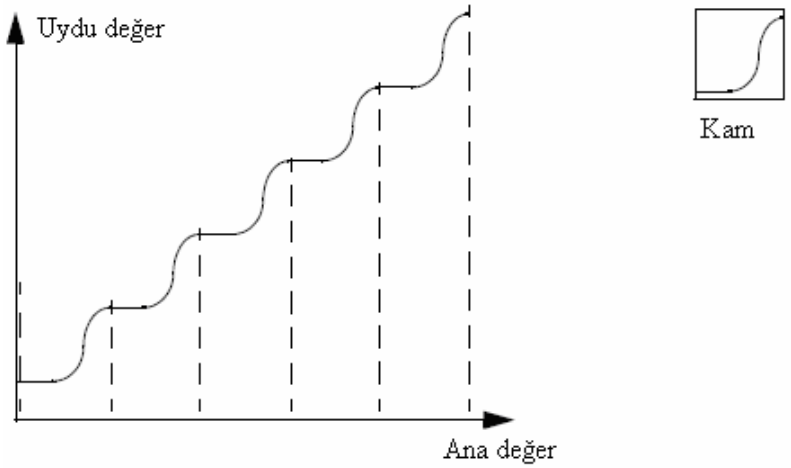
  Kamın fonksiyon değerleri bağıl referanslar olarak yorumlanır.

  - Eğer kamın fonksiyon değeri tanımsal aralığın başlangıcında ve bitişinde aynı ise veya modülsel ilişki içinde eşitse, periyodik bir hareket oluşturur (mutlak ile aynı şekilde)




**Şekil 3.23:** Aynı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması

  - Eğer kamın fonksiyon değeri tanımsal aralığın başlangıcında ve sonunda aynı değilse veya modülsel ilişki içinde eşit değilse, kamın yeni başlangıç noktası işlem görmüş kamın bitiş noktasıdır.

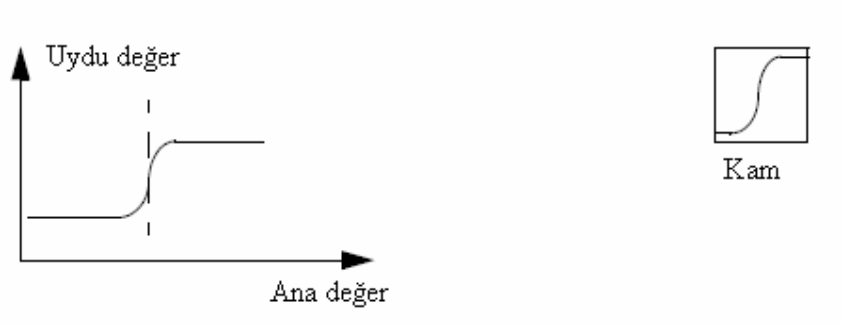



**Şekil 3.24:** Farklı başlangıç ve bitiş değerleri ile çevrimsel kam uygulaması-Bağıl

- Yön

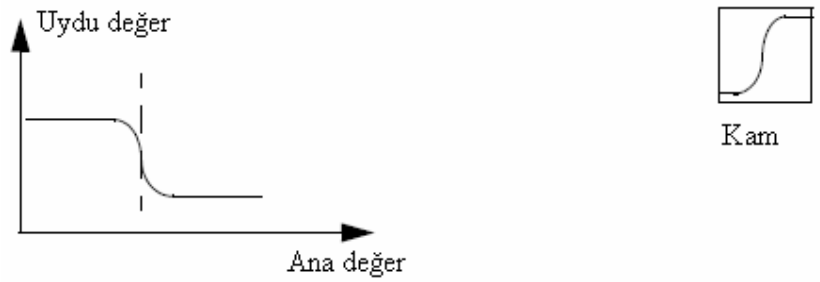
  _enableCamming komutunun yön parametresi kamı artı veya eksi yöne konumlandırmak için kullanılabilir.

  - Artı, aynı yön anlamındadır. Ana değerleri artırmak, kamın nüfuz bölgesindeki değerleri artırmaya karşılık gelir ve bunun tam tersi de geçerlidir. (Şekil 3.25)




**Şekil 3.25:** Artı kam uygulaması

  - Eksi, ters yön anlamındadır. Ana değerleri azaltmak, kamın nüfuz bölgesindeki değerleri artırmaya karşılık gelir ve bunun tam tersi de geçerlidir.




**Şekil 3.26:** Eksi kam uygulaması

Kamın herhangi bir noktası kam işlemi için başlangıç noktası olarak ayarlanabilir. Bu yüzden, kam işlemi için başlangıç noktası, kamın başlangıcında, sonlanmasında veya kam içinde herhangi bir noktada gerçekleşebilir.

- Mutlak veya bağıl kam işlemi

  Mutlak senkron operasyon durumunda, uydu değerler kamın değer aralığına göre mutlak referanslar olarak yorumlanır. Bu, ana değer ile uydu değer

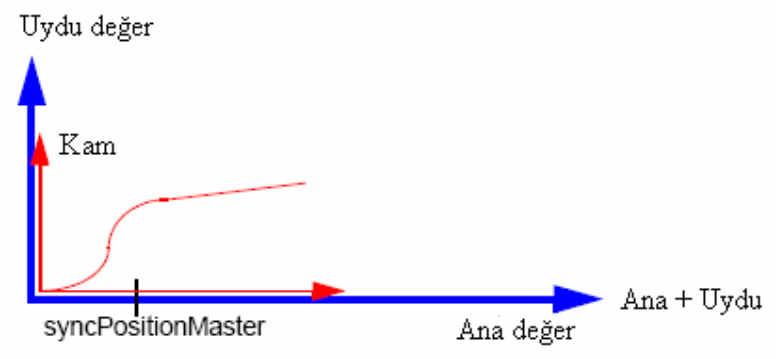
arasındaki herhangi bir sapmanın senkronizayon sırasında kompanze edilmesi demektir. Senkronizasyon işlemi bittiğinde, ana değer ile uydu değer arasında tanımlı bir faz ilişkisi kurulur.

Bağıl senkron operasyon durumunda, kam kam işleminin başlangıç noktasından bir sapma ile yorumlanır. Senkronizasyon sırasında oluşan faz kayması kompanze edilmez. Faz atlaması, başlangıç zamanındaki ana değerler ile uydu değerlerin konumlarından kaynaklanır.

- Kam işleminde senkronizasyon konumu

  Senkronizasyon konumu syncPositionMaster veya geçerli ana değer konumu ile belirlenebilir.

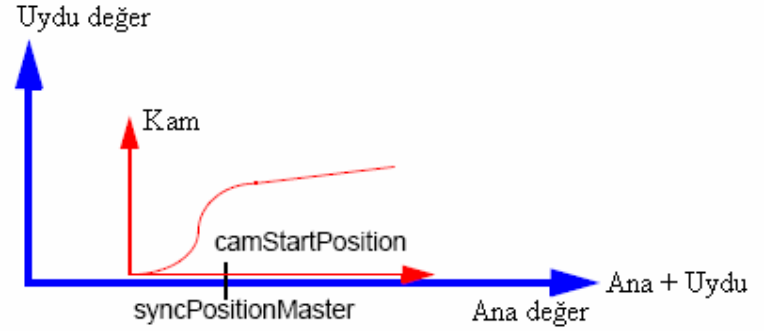
  - Hem ana hem de uydu için mutlak ayarı yapılmışsa, syncPositionMaster değerlendirilir ve kam işleme için başlangıç noktası yapılır.




**Şekil 3.27:** Ana ve uydu modları mutlak

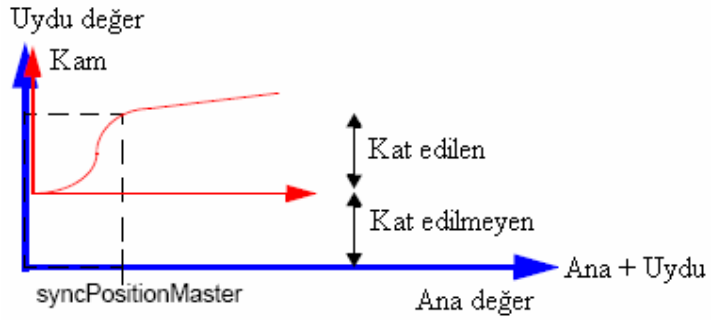
Mutlak kuplaj için (dişli: mutlak mod, kam: mutlak uydu değer modu), sapma değeri, ana değer konumundan kaynaklanan uydu konumu ile programlanmış uydu konumu arasındaki farka eşittir.

  - Eğer, ana değer için bağıl, uydu için mutlak seçilmişse syncPositionMaster ve camStartPosition değerlendirilir ve kam işlemi için karşılık gelen başlangıç noktası olarak ayarlanır.



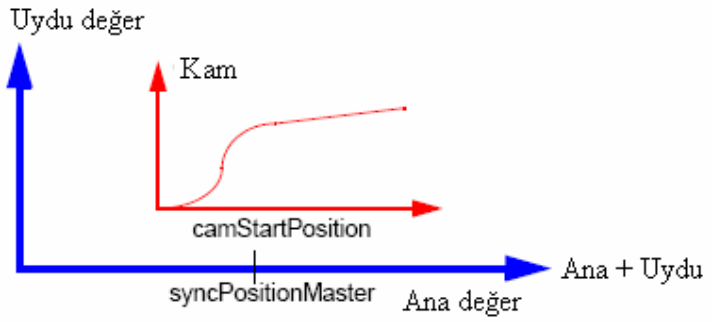

**Şekil 3.28:** Ana mod bağıl, uydu mod mutlak

- Ana için mutlak ve uydu için bağıl seçilmiş ise, syncPositionMaster komutu işlenir. Senkronizasyon sırasında, uydu eksen de, kam başlangıcı ile kam başlangıç değeri arasındaki yol farkını kat eder.




**Şekil 3.29:** Ana mod mutlak, uydu mod bağıl

- Eğer hem ana hem de uydu için bağıl seçilmiş ise, eşitleme meydana gelmez.




**Şekil 3.30:** Ana ve uydu modları bağıl

- Kam işleme hareketlerinin düzeltilmesi

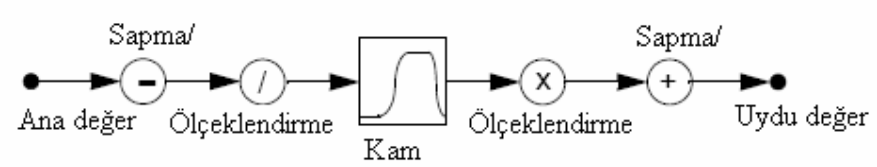
  Senkron hareketler, skala, ana değer ve uydu değerlerinin sapmaları değiştirilerek düzeltilebilirler.

Diğer olasılıklar:

- Kamın kendi sapmasını ve skalasını değiştirmek,
- Takip eden eksende üzerine zorlayıcı hareketler,
- Çalışma esnasında çalışılan eksenin ve takip eden eksenin, referans noktalarının değiştirilmesi.

- Skala ve sapma

  Senkron nesnede kam işleme için, hem ana hem de uydu tarafında birer skala ve sapma değeri belirtilebilir.




**Şekil 3.31:** Kam işlemi için geçiş adımları

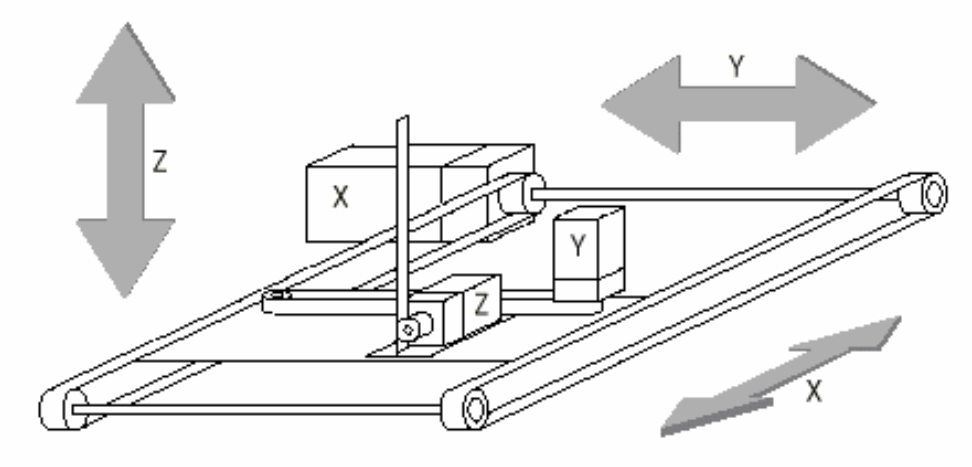
Skala ve ofset aşağıdaki gibi uygulanır:

- Ana tarafındaki sapma ana değerden çıkarılır,
- Sonuç ana değer tarafındaki ölçeklendirme çarpanına bölünür,
- Kam uygulanır,
- Uydu tarafındaki ölçeklendirme çarpanı çarpılır,
- Uydu tarafındaki sapma sonuca eklenir.

Bu şekilde takip eden uydu değeri elde edilir.

## 4. ÜÇ BOYUTLU BOYA PÜSKÜRTME SİSTEMİNİN HESAPLAMALARI

Boya püskürtme sistemindeki eksenlerin hareketi için gerekli olan moment değerleri Bölüm 2'de elde edilen denklemler kullanılarak hesaplandı.




**Şekil 4.1:** Üç eksenli sistem

Her üç eksende de dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürmek için vidalı mil sistemi kullanılmış ve ayrıca motordan alınan moment, vidalı mil sistemine 1:2 oranlı kayış sistemi ile aktarılmıştır. Vidalı milin adım aralığı 5mm/tur, ve çapı 12mm ve tipi çelik-çelik'dir (yağlı). Kayış sisteminin motor miline akuple kasnağın ağırlığı ve çapı 0.1kg, 10mm; vidalı mile akuple kasnağın ağırlığı ve çapı 0.1kg, 20mm'dir.

Eksenlerin ağırlıkları yaklaşık olarak:

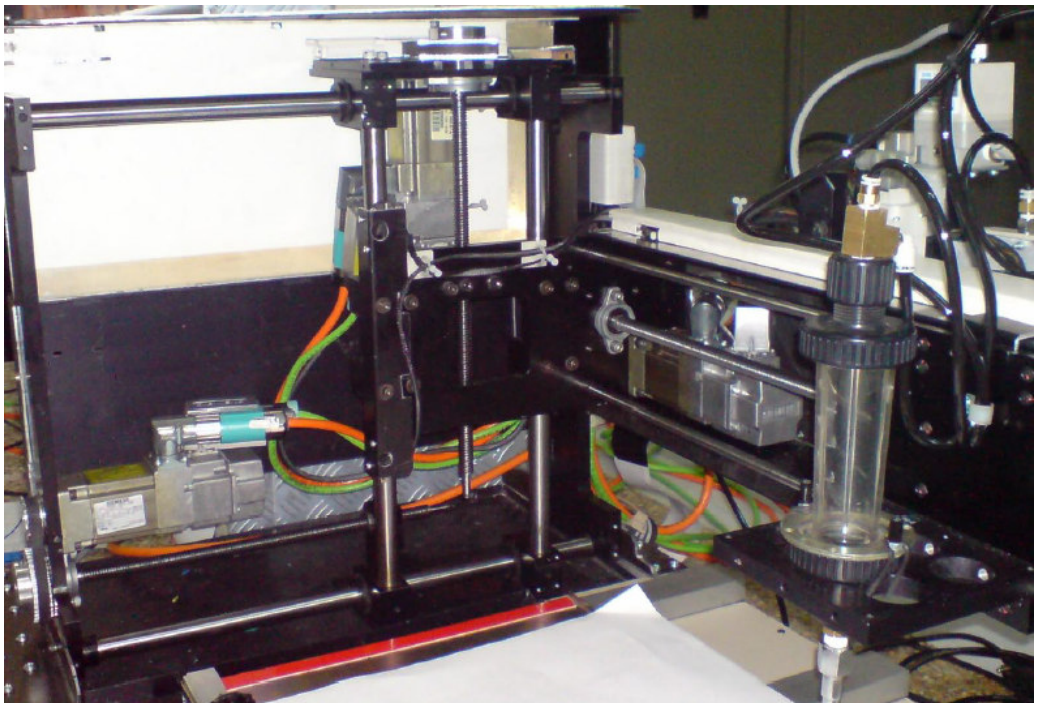
$$m_x = 32kg\,, \quad m_y = 6kg\,, \quad m_z = 24kg \tag{4.1}$$

Her üç eksen için en yüksek ilerleme hızı 100mm/sn ve ivmelenme süresi 0,1sn seçilmiştir.

İvme:

$a = \frac{v}{t} = \frac{100mm/sn}{0.1sn} = 1m/sn^2$ değeri bulunur. **(4.2)**

Motor millerine indirgenmiş yük momenti Bölüm 2.2.4'de anlatılan ikinci yöntemle hesaplanır.



**Şekil 4.2:** Üç eksenli boya püskürtme makinesi

- x ekseni için gerekli moment değeri; Şekil 4.2'den de görüleceği gibi x ekseni diğer eksenleri de taşıyan eksendir.

$$G = (m_x + m_y + m_z) \cdot a + (m_x + m_y + m_z) \cdot g \cdot \mu$$
$$= (6 + 24 + 32) \cdot 1 + (6 + 24 + 32) \cdot 10 \cdot 0.15 = 155N \quad \textbf{(4.3)}$$

$$F = G \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot l} \right) = 155 \cdot \left( \frac{5 + 0.15 \cdot \pi \cdot 12}{\pi \cdot 12 - 0.15 \cdot 5} \right) = 44.7N \quad \textbf{(4.4)}$$

$$M = F.\frac{D_p}{2} = 44.7 \cdot \frac{12}{2} = 268.2Nmm = 0.268Nm \quad \textbf{(4.5)}$$

$M_x = \frac{M}{ü} = \frac{0.268}{2} = 0.134Nm$ x ekseninde motor miline indirgenmiş yük momenti olarak bulunur.

- y ekseni için gerekli moment değeri;

$$G = m_y \cdot a + m_y \cdot g \cdot \mu = 6 \cdot 1 + 6 \cdot 10 \cdot 0.15 = 15N \quad \textbf{(4.6)}$$

$$F = G \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot l} \right) = 15 \cdot \left( \frac{5 + 0.15 \cdot \pi \cdot 12}{\pi \cdot 12 - 0.15 \cdot 5} \right) = 4.2N \quad \textbf{(4.7)}$$

$$M = F.\frac{D_p}{2} = 4.2 \cdot \frac{12}{2} = 25.2Nmm = 25.2 \cdot 10^{-3} Nm \quad \textbf{(4.8)}$$

$M_x = \frac{M}{\ddot{u}} = \frac{25.2 \cdot 10^{-3}}{2} = 12.6 \cdot 10^{-3} Nm$ y ekseninde motor miline indirgenmiş yük momenti olarak bulunur.

- z ekseni için gerekli moment değeri;

$$G = (m_y + m_z) \cdot a + (m_y + m_z) \cdot g + (m_y + m_z) \cdot g \cdot \mu$$
$$= (6 + 24) \cdot 1 + (6 + 24) \cdot 10 + (6 + 24) \cdot 10 \cdot 0.15 = 375N \quad \textbf{(4.9)}$$

$$F = G \cdot \left( \frac{h + \mu \cdot \pi \cdot D_b}{\pi \cdot D_b - \mu \cdot l} \right) = 375 \cdot \left( \frac{5 + 0.15 \cdot \pi \cdot 12}{\pi \cdot 12 - 0.15 \cdot 5} \right) = 105N \quad \textbf{(4.10)}$$

$$M = F.\frac{D_p}{2} = 105 \cdot \frac{12}{2} = 630Nmm = 0.63Nm \quad \textbf{(4.11)}$$

$M_x = \frac{M}{\ddot{u}} = \frac{0.63}{2} = 0.315Nm$ z ekseninde motor miline indirgenmiş yük momenti olarak bulunur.

Üç eksenli boya püskürtme sistemi araştırma amaçlı yapılmasından dolayı eksenlerde kullanılan motorlar hesaplanan değerlerden daha yüksek moment üretecek şekilde seçilmişlerdir.

Seçilen motorların plaka değerleri:

$M_o = 0.85Nm$

$M_N = 0.54Nm$

$I_o = 1.8A$

$I_N = 1.25A$

$n_{\max} = 10000 / \min$

$n_o = 6000 / \min$

Eksenlerin motor miline indirgenmiş eylemsizlik momentler değerleri (2.12) ve (2.36) bağıntıları yardımıyla hesaplandı.

- x ekseninde motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti kasnak, vida ve yükün eylemsizlik moment değerlerinin toplanmasından elde edilir.

$$J_{x_ind} = J_{kasnak1} + \frac{J_{kasnak2} + J_{vida} + J_{yük}}{ü^2} \tag{4.12}$$

$$J_{kasnak1} = \frac{1}{2} \cdot m_{kasnak1} \cdot {r_{kasnak1}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.1 \cdot (10)^2 = 5kgmm^2 = 5 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.13}$$

$$J_{kasnak2} = \frac{1}{2} \cdot m_{kasnak2} \cdot {r_{kasnak2}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.2 \cdot (20)^2 = 40kgmm^2 = 40 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.14}$$

$$J_{vida} = \frac{1}{2} \cdot m_{vida} \cdot r_{vida}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.5 \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2 = 9 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.15}$$

$$J_{x_yük} = m_x \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 = 32 \cdot \left(\frac{5}{2\pi}\right)^2 = 20.16 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.16}$$

$$J_{x_ind} = 5 \cdot 10^{-6} + \frac{40 \cdot 10^{-6} + 9 \cdot 10^{-6} + 20.16 \cdot 10^{-6}}{4} = 22.29 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.17}$$

- y ekseninde motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti;

$$J_{y_yük} = m_y \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 = 6 \cdot \left(\frac{5}{2\pi}\right)^2 = 3.78 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.18}$$

$$\begin{aligned} J_{y_ind} &= J_{kasnak1} + \frac{J_{kasnak2} + J_{vida} + J_{yük}}{ü^2} \\ &= 5 \cdot 10^{-6} + \frac{40 \cdot 10^{-6} + 9 \cdot 10^{-6} + 3.78 \cdot 10^{-6}}{4} = 13.2 \cdot 10^{-6} kgm^2 \end{aligned} \tag{4.19}$$

- y ekseninde motor miline indirgenmiş eylemsizlik momenti;

$$J_{z_yük} = m_z \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 = 24 \cdot \left(\frac{5}{2\pi}\right)^2 = 15.12 \cdot 10^{-6} kgm^2 \tag{4.20}$$

$$\begin{aligned} J_{z_ind} &= J_{kasnak1} + \frac{J_{kasnak2} + J_{vida} + J_{yük}}{ü^2} \\ &= 5 \cdot 10^{-6} + \frac{40 \cdot 10^{-6} + 9 \cdot 10^{-6} + 15.12 \cdot 10^{-6}}{4} = 16 \cdot 10^{-6} kgm^2 \end{aligned} \tag{4.21}$$

y eksenindeki servo motora Scout programı yardımıyla 1mm pozisyon bilgisi girildiğinde eksenin 1.02mm ilerlediği görülmüştür. Aynı deney motorun pozisyon bilgisinin derece cinsinden girilerek yapıldığında motorun milini 3° dönmesine karşılık eksen 0.01mm ilerlemiştir.

# 5. SONUÇ

Mekanik sistemlerde konumlama sağlayan doğrudan sürme, döner hareket, doğrusal hareket ve vidalı mil mekanizmalı hareket gibi dört temel sürme sistemi incelendi. Sürme sistemlerinde yükün hız değişimine karşı gösterdiği dirençten faydalanarak eylemsizlik moment bağıntıları ve güç ve enerji eşitliğinden faydalanarak da motor miline indirgenmiş moment değer bağıntıları elde edildi. Motor miline indirgenmiş yük momentinden ve hareket profiline bağlı olarak hesaplanan etkin momentten faydalanarak motor seçimi için gerekli ölçütler belirlendi. Yük/motor eylemsizlik moment oranının mekanik rezonans ve güç kaybına ilişkin bilgiler verildi. Kontrol ünitesini, motorun gereksinimi olan güç değerine ve çektiği akıma göre yapılması gerektiği belirlendi.

3 eksenli boya püskürtme sistemi için Siemens SIMOTION serisinden motorlar, kontrol üniteleri ve hareket kontrol ünitesi seçimi yapıldı.

SIMOTION kontrolünde PLC ve hareket kontrolünün birleşmiş olmasından dolayı aynı program altında hem dijital giriş çıkış sinyallerinin kontrolleri gerçeklendi hem de hareket ile ilgili komutlar yazıldı. Ana ve uydu eksenler arasındaki ilişki için ise SIMOTION'ın kam teknoloji paketinden faydalanıldı.

**KAYNAKLAR**


[1] **Mazurkiewicz, J.,** 1995. The Basics of Motion Control , Power Transmission Design

[2] **Mazurkiewicz, J.**, 2000. Pole Position, Motion System Design

[3] **Çetin, İ., Schuisky W.,** 1987. Elektrik Motörleri, Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul

[4] **Leonhard, W.,** 1985. Control of Electrical Drives, Springer-Verlag, Berlin

[5] **Tschilikin, M. G.,** 1957. Elektromotorische Antriebe, VEB Verlag Technik, Berlin

[6] **Barney, G. C. and Loher A. G.,** 1990. Elevator Electric Drives, Hartnolls, Bodmin, Great Britain

[7] **Vogel, J.,** 1977. Grundlagen der Elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen, VEB Verlag Technik, Berlin

[8] **Leonhard, A.,** 1949. Elektrische Antriebe, Ferdinard Enke Verlag, Stuttgart

[9] **Kurtulan, S.,** 1997. Elektrikli Sürücü Düzenleri, Ders Notları

[10] http://www.baldor.com/downloads/manuals/_downloads/1200-299.pdf (erişim tarihi : 05.02.2007)

[11] http://www.baldor.com/downloads/manuals/_downloads/1203-1204.pdf (erişim tarihi : 05.02.2007)

[12] http://www.harmonicdrive.net/media/support/catalogs/pdf/csd-shd.pdf (erişim tarihi : 05.02.2007)

[13] **Ercan, Y.**, 2003. Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi ve Dinamiği, Literatür Yayıncılık, İstanbul

[14] **Çakmak, M. S.,** 1986. Makine Parçalarının Mukavemet Hesapları, Makine Mühedisler Odası Yayını

[15] http://support.automation.siemens.com/ (erişim tarihi : 05.02.2007)

[16] http://engineer.la.mvla.net/robotics/2004/ (erişim tarihi : 05.02.2007)

[17] **Armstrong, R. W.,** 1998, Load to Motor Inertia Mismatch: Unveiling The Truth, Drives and Controls Cofference, Telfrod England

## ÖZGEÇMİŞ

1976, Trabzon'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamlamıştır. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği'ni kazanmış ve 1999 yılında mezun olmuştur.

Üniversite mezuniyetinden bu yana Endüstriyel Otomasyon alanında faaliyet gösteren çeşitli şirketlerde Proje Mühendisi ve Proje Yöneticisi olarak görev yapmıştır. Bu süre içersinde irili ufaklı (sistem otomasyonlarından, komple anahtar teslimi fabrika otomasyonlarına kadar) çeşitli projelerde görev yapmıştır. Halen Endüstriyel Otomasyon alanında faaliyet gösteren bir firmada Proje Yöneticisi olarak görev yapmaktadır.