

# ELEKTRÝKLÝ OTOMOBÝLLER VE PATÝNAJ ENGELLENMÝÞ BÝR DOĐRUDAN SÜRÜÞLÜ ELEKTRÝKLÝ OTOMOBÝL TAHRÝK SÝSTEMÝ

## ELECTRIC CARS AND A SKID PREVENTED DIRECT DRIVE SYSTEM FOR ELECTRIC CARS

**Azmi Demirel**

Ýstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Elektrik Mühendisliđi Bölümü, 80626, Maslak, Ýstanbul

e-posta: azzmi@elk.itu.edu.tr

### ÖZET

*Bu çalışmada temel elektrikli otomobil yapıları kışaca tanıyıldığktan sonra her arka tekerlek bağına bir motor kullanılarak gerçekleştirilen bir doğrudan sürüşlü tahrik sistemi temel alınmışve bu sisteme yönelik olarak tekerleklerin farklı olumsuz yol koşullarında patinaj yapmalarýn önüne geçmek amacıyla bir bulanık patinaj önleyici kontrol sistemi geliştirilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikli otomobil, Mekanik diferansiyel, Temel elektrikli otomobil yapıları, Bulanık kontrol, Patinaj önleme.

### ABSTRACT

*In this study, an introduction and overview about basic electric car structures is materialized. A direct driven power train structure is realized as each rear wheel, which is directly coupled to an electric motor. A fuzzy anti-skid system is also developed to prevent the wheels from skidding on uneven slippery road surfaces.*

**Key Words:** Electric car, Mechanical differential gearbox, Basic electric car structures, Fuzzy control, To avoid skidding

### 1. GÝRÝř

Ýçinde yařadýđymýř yüzyýlda son derece yođun olan insan ihtiyaç ve iliřkileri, bireyleri günlük yařamda sýklýkla bir yerden bir yere gitmek zorunda býrakmaktadır. Bu seyahatler řehir içi

olabildiđi gibi řehirler veya ülkeler arası da olabilmektedir. Özellikle řehir içi ve yakýn řehirler arasında ulařýmda en pratik çözümler otomobil kullanılmaktadır. Otomobil yani öztmeli tařıt düřüncesi 15. yüzyýldan itibaren insanların arařtırmaya yönelmiř ve çođunluđu

mekanik çeşitli düzenler yardımı ile arabalar hareket ettirilmeye çalışılmıştır. Günümüzdeki anlamda ilk otomobil 1769 yılında Fransız mucit Nikolas-Joseph Cugnot tarafından gerçekleştirilmiştir. Cugnot'un otomobili buhar gücüyle hareket eden, üç tekerlekli, dört kişilik ve son sürati 3.6 km/h olan bir araçtır. Buhar gücü ile tahrik edilen otomobiller patlama riski, duman, yüksek gürültü ve yakıt olarak kullanılan odun veya kömürün de araç içinde taşınmasının pratik olmaması nedeniyle oldukça sorunlu sistemlerdi. 1876'da Alman mühendis Niklaus August Otto, dört zamanlı benzin motorunu geliştirerek bu gün kullanılan araçların geliştirilmesini sağladı. Bu olaydan 20 yıl kadar sonra otomobil üreten firmaların sayısı birkaç yüz'e ulaşmıştır [1].

Otto'nun motoru temel prensiplerinde önemli bir değişiklik yapılmaksızın otomobilleri bu güne kadar başarı ile taşımıştır. Ancak petrol türevleri yakıtı olarak ortaya çıkan zehirli gazlar ve benzin motorlarının çalışmasında oldukça önemli görevler üstlenen kurun elementinin egzost gazıyla çevreye yayılması ayrıca benzinli motorlarda kullanılan ve sıklıkla değiştirilen kullanılan motor ya da önemli ölçüde hava ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bunlara ek olarak motorlu araç sayısının gün geçtikçe çok hızlı bir şekilde artması ve petrol kaynaklarının tükenme noktasına yaklaşması, artık vazgeçilmez bir araç olan otomobili farklı tahrik sistemleri ile hareket ettirmenin yollarını bulmayı kaçınılmaz kılmıştır. Temiz ve yaygın bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisinin bu konunun dışında bırakılması ise mümkün değildir. Elektromobil adı verilen bu otomobiller çeşitli türlerdeki elektrik motorları ile hareket ettirilmektedir. Bir elektrikli otomobilin tahrik sistemi temel olarak elektrik enerjisi kaynağı, elektrik motoru ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Elektrikli otomobiller, atık gazlar oluşturmaları ve motor yağı kullanılmaması sonucu çevre dostu olmalarının yanında bir mekanik vites kutusuna ihtiyaç duymaları, frenleme esnasında enerjisi geri kazanabilmeleri, sessiz çalışmalarını gibi özellikleri ile klasik içten yanmalı motorlara sahip otomobillere karşı önemli avantajlar sağlamaktadırlar. Ancak kullanılan akümülatörlerin ağırlık, hantal, kapasitelerinin sınırlı ve dolun sürelerinin oldukça uzun olması, aynı şekilde elektrik motorlarının da güç/ağırlık ve güç/hacim oranlarının kötü olmasından dolayı bu gün için benzinli otomobillerin yerini tam olarak alamamaktadır.

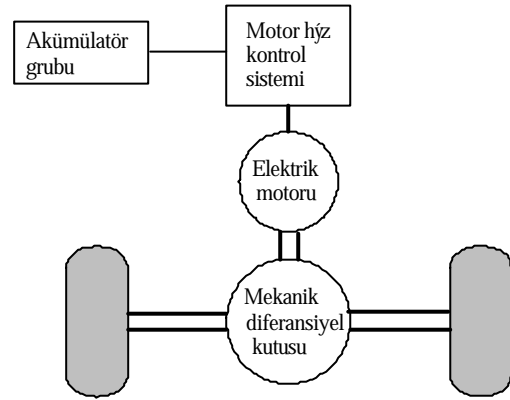
## 2. TEMEL ELEKTRİKLİ OTOMOBİL YAPISI VE TEKNOLOJİLERİ

### 2.1. TEMEL ELEKTRİKLİ OTOMOBİL YAPILARI

Elektrikli otomobiller için farklı tahrik düzenleri ortaya atılmıştır. Bunlar tamamen elektrik enerjisi ile hareket eden sistemler ve elektrik enerjisi ile içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı karma sistemlerdir. Burada bu sistemlere kısaca göz atılacaktır [2,3,4].

#### 2.1.1 Akümülatör, Elektrik Motoru ve Mekanik Diferansiyelden Oluşan Sistem

Bu yapı içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan klasik sistemdir. İçten yanmalı motor ve yakıt deposu, elektrik motoru ve akümülatör ile yer değiştirilmiştir. Şekil 2.1 de sistemin blok şeması gösterilmiştir.



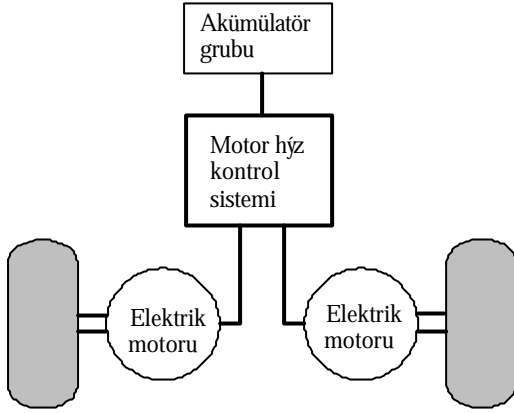
Şekil 2.1 Akümülatör, elektrik motoru ve mekanik diferansiyelden oluşan sistem

Ayrıca elektrik motorlarının hız kontrol esnekliğinin bir sonucu olarak vites kutusu kaldırılmıştır. Ancak motorun dönüş hareketini çekiş yapan tekerleklerle iletmek ve bu tekerlekler arasındaki güç dağılımını düzenlemek amacıyla bir mekanik diferansiyel kutusu kullanmak gerekli olmaktadır.

#### 2.1.2 Akümülatör ve İki Elektrik Motoru Kullanılan Diferansiyelsiz Sistem

Bu sistemde çekiş yapan iki tekerlek (öndeki veya arkadaki çift) bağımsız birer motor ile doğrudan tahrik edilmektedir. Motorlar için uygun kontrol kuralları belirlenerek aracın farklı yol şartlarında optimum çekiş sağlanmasının yanı sıra mekanik aktarma organlarının kullanılmaması verimi ve güvenilirliği

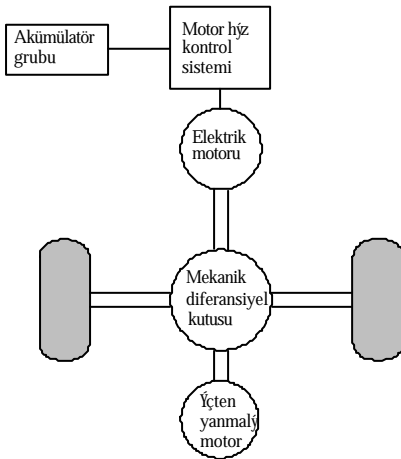
arttırırken bakım ihtiyacını da azaltmaktadır. Sistemin blok şeması Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Akümülatör ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistem

### 2.1.3 Akümülatör, Elektrik Motoru ve İçten Yanmalı Motordan Oluşan Karma Sistem

Paralel olarak çalışan elektrik motoru ve içten yanmalı motor, taşıtın mekanik güç hattına aynı anda ve sürekli olarak bağlıdır. Duruma göre biri veya diğeri taşıtı hareket ettirmektedir. Bu seçim, yol şartlarının değişmesi (sıkışık trafik veya otoban), akümülatörlerin tamamen boşalması veya yakıtın tükenmesi gibi hallerde optimal çalışmayı sağlamak amacıyla veya zorunluluklar sonucu yapılabilir. Blok şeması Şekil 2.3 de gösterilen bu tahrik sistemi “paralel karma sistem” olarak adlandırılmaktadır.

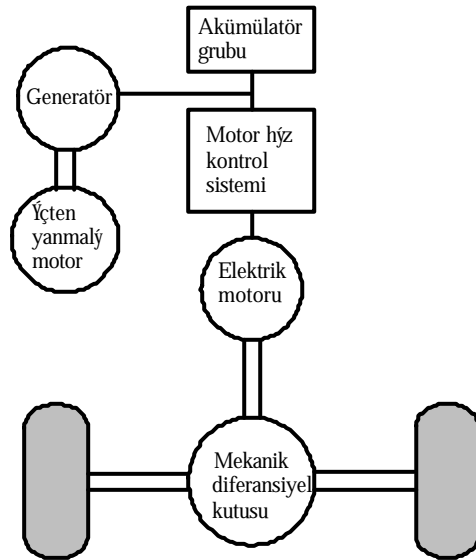


Şekil 2.3 Akümülatör, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan oluşan paralel karma sistem

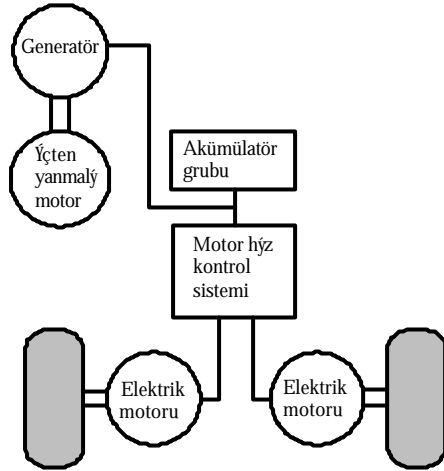
### 2.1.4 Akümülatör, Elektrik Motoru, Generatör ve İçten Yanmalı Motordan Oluşan Karma Sistem

Bu sistemde otomobil daima elektrik motoru (veya motorları) tarafından hareket ettirilmektedir. İçten yanmalı motor ve generatör ise akümülatörün doldurulması ve elektrik güç hattının beslenmesi görevlerini üstlenmiştir. Bu tip sistem ise “seri karma sistem” adını alır.

Karma sistemler sadece elektrik enerjisi kullanan tahrik sistemlerine göre daha pahalıdır. Ancak daha geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Genel olarak otomobillerde kullanılan içten yanmalı motorlar değişik devir sayılarında çalışmak zorunda olduğundan çalışma esnasında verim ve atık gaz miktarları büyük değişimler göstermektedir. Oysa seri karma sistemde içten yanmalı motor, verim ve atık gazlar açısından en uygun hızında sabit hızlı olarak çalıştırılmaktadır. Şekil 2.4 de sistemin tek bir elektrik motoru ve bir mekanik diferansiyel kutusu kullanılarak gerçekleştirilmesi durumundaki blok şeması verilmiştir. Şekil 2.5 de ise tekerlek başına birer elektrik motoru kullanılan seri karma sistemin blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Bir elektrik motoru ve mekanik diferansiyel kullanılan seri karma sistem



**Pekil 2.5 Tekerlek başına bir elektrik motoru kullanılan seri karma sistem**

### 3. VÝRAJ DÖNEN BÝR OTOMOBÝLÝN ÇEKÝP YAPAN TEKERLEKLERÝ ARASINDAKÝ YÜK DAĐILIMI

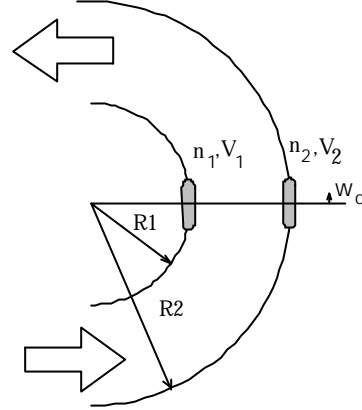
Araçta çekiş gerçekleştirilen tekerlekler farklı yol durum ve şartları altında (viraj dönülürken veya bir tekerleğin patinaj yapması hali gibi) istenilen momenti dengeli olarak oluşturabilmelidir. Bu amaçla iki tekerlede ait motorların momentleri ve devir sayıları, elektronik diferansiyel olarak tanımlanabilecek bir kontrol bloğu tarafından denetlenecektir.

#### 3.1 MEKANİK DÝFERANSÝYEL DÝPLÝ DÜZENÝ

Bir otomobilde öncelikle tek bir motorda oluşturulup, vites kutusu yardımı ile momenti ve devir sayısı değiştirilebilen tahrik gücünü çekiş yapan iki tekerlede dağıtan bir düzeneğe gerek vardır. Otomobil bir viraja girdiğinde virajın dönüp yönünün dâbında kalan tekerlekler iç taraftakilere göre daha fazla yol katederler ve daha hızlı dönmek zorunda kalırlar.

Pekil 3.1 de otomobilin viraj dönüşü gösterilmiştir. Burada virajın iç ve dış tarafındaki çekiş yapan tekerleklerin birbirlerine doğrudan bağlı oldukları yani düz gidip halindeki gibi eşit hızda döndükleri düşünülürse, viraj alınması halinde dıştaki tekerlek sürüklenirken, içteki de frenlenmeye çalışılacaktır. Bunun sonucunda tekerlekler kaymaya başlayacak ve direksiyon hakimiyeti azalacaktır. Ayrıca yakıt harcaması artarken lastiklerin aşınması da

hızlanacaktır. Günümüzün içten yanmalı motorlara sahip otomobillerinin hemen tamamında kullanılan diferansiyel dişli grubu bu problemi oldukça tatminkar bir biçimde çözmektedir [5,6,7].



**Pekil 3.1 Araçın bir viraj dönmesi durumunda virajın iç ve dış dâbında kalan tekerlekler**

Ancak mekanik diferansiyel dişli düzeni bir takım sorun ve eksikliklere de sahiptir. Bunlar kısaca sıralanırsa;

Aşırılık.

Mekanik güç kayıpları.

Mekanik gürültü ve aşınma.

Düzenli bakım ve yağ değişimi ihtiyacı.

Bunlardan başka ve belki en önemlisi çekiş yapan tekerleklerden birinin yola tutunamaması (patinaj) sonucu diğer tekerlede moment iletilmemesi ve otomobilin hareketsiz kalmasıdır.

Tek bir tahrik motoru kullanıldığında sürece gerek elektrik, gerekse içten yanmalı motor olsun bir diferansiyel dişli kutusu kullanılmak zorunda kalacaktır. Bundan başka bir yöntem ise çekiş yapan her bir tekerlede ayrı bir motor ile tahrik etmektir. Burada motorlar bir takım kurallara göre kontrol edilmelidir [8].

#### 3.2 ÇEKÝP YAPAN HER BÝR TEKERLEĐÝNE DOĐRUDAN BAĐLI BÝR ELEKTRÝK MOTORU OLAN ELEKTRÝKLÝ OTOMOBÝL SÝSTEMÝ

Bu çalışmada benimsenmiş olan bu tahrik sisteminin avantaj ve dezavantajları incelenecek olursa;

Doğrudan sürüş metodu kullanılması sonucu mekanik verim arttırılırken mekanik sistem sadeleşmiştir.

Tek motorlu sistemlerde kullanılmak zorunda kalınan, tahrik gücünü tekerleklere paylaştıran ve genellikle mekanik dişli düzenleriyle gerçekleştirilen bir sisteme gerek yoktur. Bunun sonucu olarak da kayıplar, bakım giderleri ve işletme maliyeti azaltılmıştır.

Motorlardan birinin arızalanması halinde bile diğer motor aracı servis noktasına kadar taşıyabilmekte böylece aracın güvenilirliği artmaktadır.

Bu olumlu özelliklerine karşılık her iki motor da aynı besleme gerilimi ile beslenecek olursa, içten yanmalı motorlu taşıtlarda diferansiyel dişli grubunun kullanılmaması halinde ortaya çıkan sorunların benzerleri ile karşılaşılacaktır. Buna göre bir viraj dönülürken içte kalan motor dıştakine oranla daha fazla yüklenecektir. Motor momentleri uygun biçimde kontrol edilmezse direksiyon hakimiyeti azalırken lastik aşınması da artacaktır [5,7]. Bu dengesiz yük dağılımı ayrıntılı olarak incelenmek istenirse öncelikle viraj içindeki bir aracın iç ve dış tarafındaki tekerleklerinin devir sayılarının ne şekilde dağılımını belirlemek gerekir. Buna göre, Şekil 3.1 de görülen otomobil modeli iç yarı çapı R1 olan bir virajı  $\omega_0$  açısal hızıyla dönsün bu esnada iç taraftaki tekerlek R1, dıştaki ise R2 yarı çaplı birer daire yayı üzerinde hareket edeceklerdir. İçteki tekerleğin çizgisel hızı V1, dıştaki tekerleğin çizgisel hızı V2 olmak üzere;

$$V_1=R_1.\omega_0 \quad (3.1)$$

$$V_2=R_2.\omega_0 \quad (3.2)$$

$R_T$  tekerlek yarıçapı ve  $n_1$  ve  $n_2$  tekerlek devir sayıları olmak üzere, tekerlek çizgisel hızları aşağıdaki şekilde de yazılabilir.

$$V_1=2\pi R_T n_1/60 \quad (3.3)$$

$$V_2=2\pi R_T n_2/60 \quad (3.4)$$

(3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) eşitlikleri kullanılarak (3.5) eşitliği yazılabilir.

$$n_1/n_2=R_1/R_2 \quad (3.5)$$

### 3.2.1 Motorların Moment Kontrolü

Kullanılabilecek çözüm yollarından biri yükü büyüyen iç taraftaki motorun besleme gerilimi

azaltılarak ürettiği moment azaltılırken daha az yüklenen dış taraftaki tekerleğin motorunun besleme gerilimi arttırılarak motorların toplam yükü eşit biçimde paylaşmaları sağlanabilir. Diğer bir çözüm ise bu çalışmada da benimsendiği gibi motor akımlarının dolayısıyla momentlerinin kontrol edilmeleridir. Bu sayede motorlar devir sayılarından bağımsız olarak sabit moment üretebilmektedir.

Moment kontrolü yapmanın avantajları kısaca özetlenirse,

Motorlar yükü daima eşit olarak paylaşır. Böylece nominal güçleri belirlenirken göz önüne alınacak emniyet payı çok daha küçük seçilebilir.

Lastikler eşit yük altında çalışmaları sonucu aşınmaları da dengeli olur.

Tekerlek momentlerinin eşit dağılımı sonucu direksiyon kontrolü daha rahat olur.

Moment kontrolü amacıyla motor akımlarının kontrol altında tutulması sonucu doğrudan bir aşırı yüklenme koruması yapılmıştır.

Bu olumlu yanlara karşılık patinaj durumunda tekerlek devir sayıları çok büyük değerlere çıkabilir. Patinaja başlayan tekerleğin yere uyguladığı kuvvetin azalması sonucu bu tekerleğin tahrik eden motorun yükü de azalmış olacaktır. Akım kontrol düzeni, yükü azalan motorun kaynaktan çektiği akımı sabit tutmak için motorun uç gerilimini büyütecektir. Bunun sonucunda patinaj yapan tekerlek daha da hızlanarak kaymaya devam edecektir. Bunun önüne geçilmelidir.

## 4. BULANIK KONTROLÖR KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN PATİNAJ ÖNLEME SİSTEMİ

İnsanoğlu günlük hayatında sürekli olarak yakın çevresinden gelen bilgileri işler ve sonucunda gerekli kararları verir. İnsanın doğrudan olarak sahip olduğu bu yetenek bilgisayarlara oldukça karmaşık çalışmalarla kısmen kazandırılmaktadır. Bilgisayarlar işlemlerinde sadece iki farklı değer tanımlı olduğu Boolean cebirini kullanmaktadır. Bu farklı değerler {1, 0}, {evet, hayır}, {doğru, yanlış}, {5V, 0V}, vs. olarak ifade edilebilir ancak sayıları iki taneden fazla olamaz. Bu

durum bilgisayarın iç hesaplamalarında ve bilgisayarlar arası haberleşmelerde bir sorun yaratmamaktadır. Ancak gerçek dünyada karşılaşılan durumlar ve soruların cevapları daima kesin değerlere sahip değildirler. Bir çok cevap "evet", "hayır", "aydınlık", "karanlık" şeklinde kesin olabileceği gibi bir çözüme de "belki", "loş", "yılık" gibi yoruma açık bir belirsizlik taşımaktadır. 1965 yılında prof. L. A. Zadeh bilgisayar tabanlı üzerine kurulmuş kontrol sistemlerinde kesin bir değer alması şart olmayan yani ara durumların da tanımlanabileceği deðişkenlerin kullanılabilmesine olanak veren "Fuzzy Sets" veya "bulanık kümeler" teorisini ortaya atmıştır. Başlangıçta fazlaca ilgi görmeyen bu teoriyi 1974'de Dr. E. H. Mamdani bir buharlı motorun kontrolünde kullanmıştır. Daha sonraları 1980'de Danimarka'da F. L. Smidth Co. tarafından bir çimento fabrikasında ilk ticari uygulaması yapılmıştır [36,37]. Bu gün "bulanık kontrol yöntemi" motor hız kontrolundan uçaklardaki otomatik pilotlara veya evlerde kullanılan beyaz eşyalara kadar bir çok farklı alanda kullanılmaktadır. Bulanık kontrol uygulamalarında en önemli avantaj dilsel deðişkenlerin kullanılabilmesidir. Bu deðişkenler konuşma dili veya yapay bir dil kullanılarak oluşturulan kelime veya cümleler olabilir. Bu sayede konularında uzmanlaşmış kişilerin tecrübe ve fikirleri kolayca kontrolöre aktarılabilir ve uzman kontrol sistemleri gerçekleştirilebilir [9].

#### 4.1 BULANIK KONTROL

Bulanık kontrol sistemi, kontrol edilen sistemden gelen etkilere ve bulanık kurallar adı verilen kurallara göre karar verip, gerekli kontrol büyüklüğünü oluşturan bir uzman sistemdir. Bulanık kontrolörler klasik kontrolörlerin aksine uzman insan kullanıcıların tecrübelerinden de yararlanabilirler. Bu özellik, matematiksel modeli tam ve hassas olarak ortaya konulamayan veya çok zor ve pahalı olarak elde edilebilecek sistemlerde son derece önemli avantajlar sağlar. Eksiksiz bir matematiksel modelin elde edilmesindeki başlıca zorluklar, sistem doğasından gelen doğrusallık bozuklukları, sistem yapısının zamanla değişmesi, büyük genlikli ve sınıflandırılmayan çevresel bozucular etkisinde çalışılması, algılayıcıların zamanla doğruluklarının değişmesi ve çok hassas ölçümlerin yapılması olarak sıralanabilir. uygulamada ise deneyimli insan kullanıcıların bu sistemlerle çalışırken oldukça güvenilir ve tutarlı

kararlar aldıkları gözlenmektedir. Bu durumda deneyimli bir kullanıcının tecrübelerinin hassas bir matematiksel modelin yerini alabileceği düşünülebilir. Ancak bu tecrübenin kalıplaşmış bazı terimler kullanılarak ifade edilebilmesi oldukça zor olabilir. Bunun yerine tecrübeler dilsel açıklamalar ile daha kolay olarak algılanabilecektir. Farklı çalışma durumlarının dilsel açıklamaları yardımıyla bulanık çıkarımlar esnasında bağ vurulacak olan bir kural kümesi elde edilir. Ayrıca bu kurallara bir örnek verilmiştir.

EDER devir sayısı oranı çok büyük VE direksiyon çevrilme miktarı sızır YSE motor akımını azalt

Burada devir sayısı oranı ve direksiyon çevrilme miktarı çalışma esnasında izlenmekte olan durum deðişkenleridir. Motor akımı ise bulanık kontrolör tarafından belirlenecek olan çıkış büyüklüğüdür. Bulanık kontrolör, üç temel bölüme ayrılmaktadır. Bulanıklaştırıcı, sistemden alınan iki tabanlı sayısal bilgiyi üyelik fonksiyonları yardımı ile bulanık büyüklüklere çevirir. Çıkış makinası, bulanık "EDER...YSE" kuralları yardımı ile giriş deðişkenlerinden bulanık çıkış deðişkenlerini belirler ve bu sonuçları bir araya getirir. Ancak bu değer halen bulanık bir büyüklüktür. Durulaştırıcı adı verilen blok ise bulanıklaştırıcının aksine bulanık bir büyüklükten tek bir (duru) değer elde ederek kontrol iaretini oluşturur [10,11,12,13,14].

#### 4.2 ELEKTRONİK PATİNAJ ÖNLEYİCİ

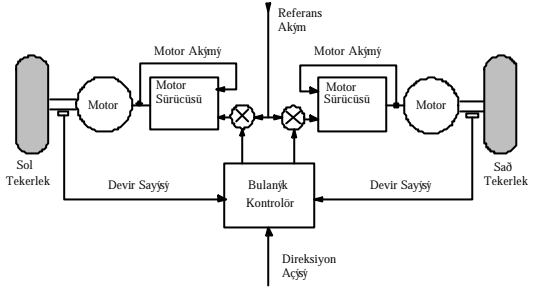
Günlük hayatta kullanılan sıradan otomobillerde bulunan mekanik diferansiyel kutularının kuşkusuz en önemli ve etkili dezavantajı tekerleklerden birinin yere tutunamaması sonucu patınej yapması halinde diğer tekerlede de güç iletilmemesidir. Bu çalışmanın konusunu teşkil eden iki motorlu otomobilde ise bir tekerlek diğerinin durumundan bağımsız olarak güç üretebilmektedir. Böylece tekerleklerden birinin kaygan bir zemin üzerinde bulunması (kar, çamur, buz vs) arabanın ilerlemesine engel değildir.

Kullanılan motorlarda akım kontrolü yoluyla moment kontrolü yapılmaktadır. Bunun sonucunda araç düz giderken bir viraja gelindiğinde virajın içinde kalan tekerlekler ile

dışındaki aralarında ortaya çıkan devir sayı farkından dolayı, yükün motorlar arasında dengesiz bir şekilde paylaşılmasının önüne geçilebilmektedir. Araç düz giderken veya bir virajın alınması esnasında tekerleklerden birinin patinaja başlaması durumunda bağlı olduğu motorun yükü aniden azalacaktır. Yükü azalan motorun çektiği akım da azalacaktır. Bunun sonucu akım kontrolü yapan motor kontrol katı, motor akımının sürücünün "gaz pedalına" basarak belirlendiği referans değere yükseltmek amacıyla motor sargılarına uyguladığı gerilimi arttıracaktır. Geriliminin artması patinaj yapan motoru daha da hızlandıracak ve bu böylece sürecektir.

Ortaya çıkan durumun sakıncaları incelenirse, öncelikle patinaj yapan tekerleğin yere güç verememesi ancak akım çekmeye zorlanması sonucu gereksiz bir güç kaybı ortaya çıkacaktır. Tekerlek büyük bir devir sayısıyla dönerken yoldaki olumsuz durumun (çamur birikintisi, buz, mıcır, vs.) ortadan kalkarak aniden yere tutunması sonucu hızlı bir şekilde yavaşlamak zorunda kalacaktır. Motor ve tekerleğin eylemsizlik momentleri ve akım kontrol çevriminin zaman sabitinden dolayı aniden yavaşlaması mümkün olmayan lastik ile yer arasında büyük bir sürtünme kuvveti ortaya çıkacaktır. Bu esnada lastik hızla aşınır ömrü kısalırken otomobilin savrulma ihtimali de belirecektir. Patinajı engellemek için yapılması gereken şey sürücünün ayağına gaz pedalından kaldırarak referans akımı küçültmesidir. Ancak bu durumda yolu tutan tekerlek ve sonucunda otomobil de yavaşlayacaktır.

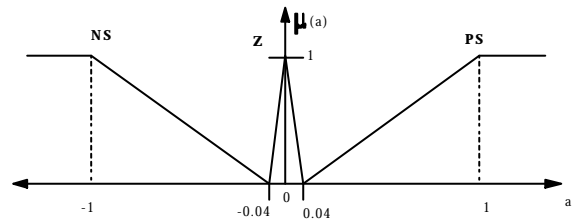
Bu çalışmada, yukarıdaki soruna çözüm olarak patinaj halinde sürücünün belirlendiği referans akımdan bağımsız olarak, kısmen veya tamamen yüksüz kalmış olan motoru dönmeye zorlayan bir kontrol bloğu kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 4.1 de sistemin blok şeması gösterilmiştir. Bu bloğun çalışma parametrelerinin oluşturulmasında "Bulanık Mantık" kavramı kullanılmış ve "Bulanık Patinaj Önleme" yöntemi geliştirilmiştir [9].



Şekil 4.1 Sistemin blok şeması

#### 4.2.1 Bulanık Patinaj Önleme Sistemi

Tekerleklerden birinin patinaj halinin sağ ve sol tekerlek devir sayılarının farkı veya oranının değerlendirilmesiyle algılanması mümkündür. Ancak bir viraj dönülürken de tekerlekler farklı devirlerde dönerler. Bu nedenle direksiyonun döndürülme miktarı (açışı) da hesaba katılmalıdır. Amaç, devir sayılarının oranı ve direksiyon açısının o andaki değerinden otomobilin yol tutuş durumunun belirlenmesi ve patinaj yapan tekerlek varsa bunun hızının kontrol edilmesidir. Ayrıca direksiyon açısının a ve devir sayıları oranının da ile gösterildiği durum için giriş üyelik fonksiyonları yer almaktadır. Şekil 4.2 de direksiyon açısı a ya ait üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Direksiyon açısı "a" ya ait üyelik fonksiyonları

Direksiyon açısı a, üç adet üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Bunlar;

Z: direksiyonun düz tutulduğu durumdur. Bu halde araba düz gitmeli ve tekerleklerin devir sayıları eşit olmalıdır.

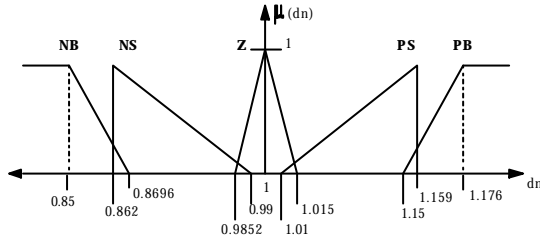
NS: direksiyon sola çevrilmiştir. Araba sola dönmekte ve tekerlek devir sayıları sağdaki tekerleğinki büyük olacak şekilde farklı olmalıdır.

PS: direksiyon sağa çevrilmiştir. Araba sağa dönmekte ve tekerlek devir sayıları soldaki

tekerleğinki büyük olacak şekilde farklı olmalıdır.

Direksiyon açısı a'nın değişim aralığı -1 (tamamen sola çevrilmiş) ile +1 (tamamen sağa çevrilmiş) arasında tanımlanmıştır.

Pekil 4.3 de devir sayı oranına ait üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Devir sayı oranı  $d_n$ , be° adet üyelik fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Bunlar, NB, NS, Z, PS ve PB dir. Burada en önemli nokta NB ve PB fonksiyonlarının bağlıkları devir sayı oranlarının belirlenmesidir.



**Pekil 4.3 Devir sayı oranı "dn" 'ye ait üyelik fonksiyonları**

Bu değerler otomobilin genişliği ve dönebileceği en küçük viraj yarı çapı cinsinden hesaplanabilirler. Pekil 4.4 de gösterilen durumda;

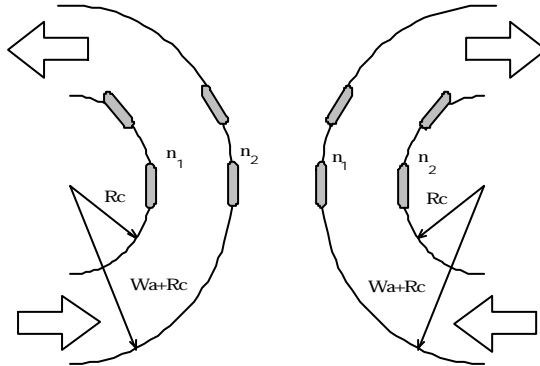
$R_c$ : viraj yarı çapı

$W_a$ : otomobilin dingil genişliği

$n_1$ : sol tekerleğin devir sayı

$n_2$ : sağ tekerleğin devir sayı

olmak üzere aşağıdaki eşitlikler yazılabilir [9].



**Pekil 4.4 Aracın sola veya sağa doğru viraj dönmesi**

sola dönüş hali için;

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{R_c}{R_c + W_a} \quad (4.1)$$

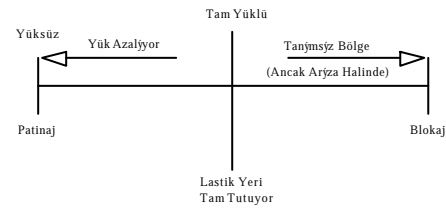
sağ dönüş hali için;

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{R_c + W_a}{R_c} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilebilir.

Uygulamada  $R_c=10m$  ve  $W_a=1.5m$  alınmıştır. Yukarıdaki (4.1) ve (4.2) bağlıkları uyarınca bu değerler için devir sayı oranları 0.8696 (tam sola dönüş) ile 1.15 (tam sağ dönüş) olarak hesaplanmıştır.

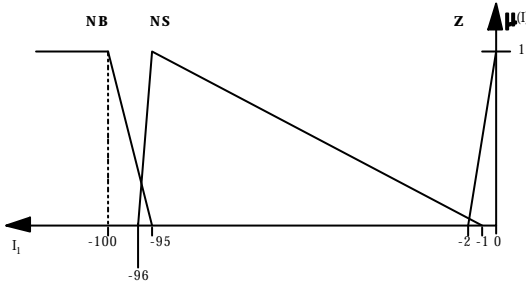
Otomobilin bütün yol ve sürüş şartlarına karşılık çekişyapan sağ ve sol tekerleklerin devir sayıları oranı bu değerler arasında olmalıdır. Aksi halde kesinlikle patinaj var demektir. Sola dönüş durumu için ( $n_1/n_2$ ) devir sayı oranının 0.8696 değerinin altına düşmesinin iki nedeni olabilir. Bunlar  $n_1$  in küçülmesi veya  $n_2$  nin büyümesidir. Pekil 4.5 da bir tekerlede ait çalışma koşullarını gösterir bir grafik verilmiştir. Bir motorun en fazla yüklendiği durum, bağlı olduğu lastiğin hiç kaymaksızın (patinajsız olarak) yeri kavradığı ideal durumdur. Bu hal için devir sayısının viraj yarı çapı tarafından belirlenen değerin altına düşmesi ancak bir arıza halinde mümkün olabilir. Diğer bir değişle sola dönüş halinde  $n_1$  in  $n_2$  den büyümsüz bir biçimde küçülmesi mümkün değildir. Bu durumda  $n_1/n_2$  oranının aniden düşmesinin nedeni  $n_2$ 'nin büyümesi olmalıdır. Eğer 2. motorun bağlı olduğu tekerlek yere tutunabilme yeteneğini kaybettiye (patinaj yapıyorsa) bu motorun yükü de azalacak ve hızı ( $n_2$ ) artacaktır. Bu açıklamalar simetrik olarak sağ dönüş hali için de geçerlidir [9].



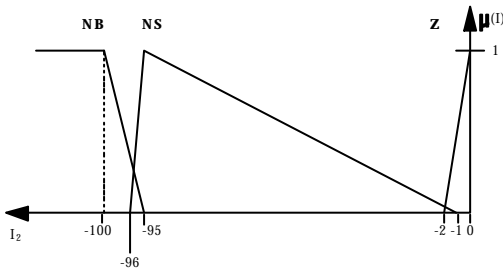
**Pekil 4.5 Motorun çalışma durumları**



Çıkışlara ait üçer adet (NB, NS, Z) üyelik fonksiyonu <sup>a</sup> ekil 4.6 ve <sup>a</sup> ekil 4.7 de gösterilmiştir. Her iki motor akımının referans (sürücü tarafından belirlenen) değerinin o anki yol ve çalışma durumuna göre ne kadar değiştirilmesi (veya hiç değiştirilmemesi) gerektiğini belirleyen kontrol işaretlerinin elde edilmesinde aynı tip üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



**Pekil 4.6 Birinci motora ait çıkış üyelik fonksiyonları**



**Pekil 4.7 İkinci motora ait çıkış üyelik fonksiyonları**

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının birbirine ilişkilendiren bulanık kurallar ise aşağıda belirtilmiştir. Burada birinci motorun akım kontrol büyüklüğü  $I_1$ , ikinci motorun akım kontrol büyüklüğü ise  $I_2$  ile gösterilmiştir [9].

- 1) Eğer  $dn=NB$  ve  $a=NS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=NB$  olsun.
- 2) Eğer  $dn=NB$  ve  $a=Z$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=NB$  olsun.
- 3) Eğer  $dn=NB$  ve  $a=PS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=NB$  olsun.
- 4) Eğer  $dn=NS$  ve  $a=NS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 5) Eğer  $dn=NS$  ve  $a=Z$  ise  $I_1=$  ve  $I_2=NS$  olsun.
- 6) Eğer  $dn=NS$  ve  $a=PS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=NB$  olsun.

- 7) Eğer  $dn=Z$  ve  $a=NS$  ise  $I_1=NS$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 8) Eğer  $dn=Z$  ve  $a=Z$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 9) Eğer  $dn=Z$  ve  $a=PS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=NS$  olsun.
- 10) Eğer  $dn=PS$  ve  $a=NS$  ise  $I_1=NB$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 11) Eğer  $dn=PS$  ve  $a=Z$  ise  $I_1=NS$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 12) Eğer  $dn=PS$  ve  $a=PS$  ise  $I_1=Z$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 13) Eğer  $dn=PB$  ve  $a=NS$  ise  $I_1=NB$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 14) Eğer  $dn=PB$  ve  $a=Z$  ise  $I_1=NB$  ve  $I_2=Z$  olsun.
- 15) Eğer  $dn=PB$  ve  $a=PS$  ise  $I_1=NB$  ve  $I_2=Z$  olsun.

Yukarıdaki kurallar matris formunda Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1 Birinci motora ait bulanık kuralların matrisel gösterimi**

$dn \backslash a$	NS	Z	PS
NB	Z	Z	Z
NS	Z	Z	Z
Z	NS	Z	Z
PS	NB	NS	Z
PB	NB	NB	NB

$I_1$

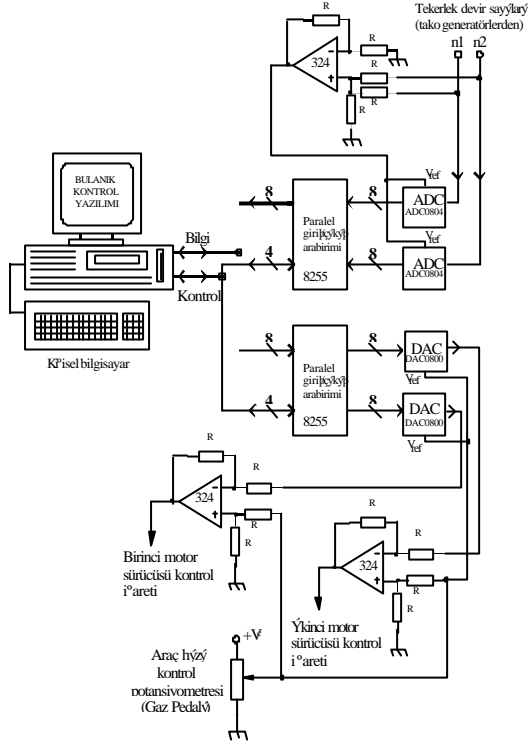
**Tablo 4.2 ikinci motora ait bulanık kuralların matrisel gösterimi**

$dn \backslash a$	NS	Z	PS
NB	NB	NB	NB
NS	Z	NS	NB
Z	Z	Z	NS
PS	Z	Z	Z
PB	Z	Z	Z

$I_2$

## 5. BULANIK KONTROLÖRÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Gerçekleştirilen sistemin ayrıntılı blok şeması <sup>a</sup> ekil 5.1 de gösterilmiştir.



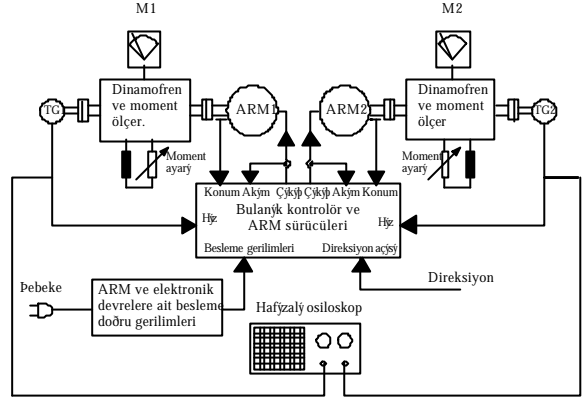
**Şekil 5.1 Bulanık kontrolörün ayrıntılı blok şeması**

Bulanık kontrolör, bir kişisel bilgisayar, gerekli giriş/çıkış çevre birimleri ve oluşturulan yazılım yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kurulan deney düzeneğine ait blok şema Şekil 6.1 de gösterilmiştir. Sağ ve sol tekerleklere ait ARM1 ve ARM2 motorlarının yükleri, millerine bağlı olan dinamofrenler yardımıyla ayarlandıktan sonra direksiyon açısı da girilerek aracın o andaki yol ve sürüş şartlarının benzetimi sağlanmaktadır. Örneğin birinci ve ikinci motorların momentleri birbirine eşit olarak ayarlanıp, direksiyon açısının da sıfır olarak belirtilmesi halinde motor devir sayıları birbirine eşit olacaktır. Bu durum aracın patinajsız düz gidiş haline karşılık düşmektedir. Birinci motor tarafından sürülen tekerleğin patinaja başlaması durumu incelenmek istendiğinde bu motorun yük momenti, bağlı olduğu dinamofren yardımıyla istenilen oranda azaltılarak sistemin bu durumdaki davranış gözlemlenmektedir. Yukarıda anlatılan yöntemle araç tekerleklerinin farklı yol ve sürüş şartlarındaki davranışları belirlenebilmektedir. Deneyler genellikle bulanık kontrolörün devrede olduğu ve olmadığı

durumlar için patinaj yapan tekerleklerin devir sayılarının karşılaştırılmasına yönelik olarak yapılmıştır. Böylece kontrolörün etkinliği gösterilmeye çalışılmıştır. Motorlara ait devir sayılarının değişimleri çift kanallı, hafızalı ve yazıcı bir sayısal osiloskop yardımıyla kaydedilmiştir.



**Şekil 6.1 Deney düzeneği.**

## 7. SONUÇ

Bu çalışmada ön görülen sürücü sistemine ait bulanık patinaj önleyici sisteminin laboratuvar ortamında simüle edilen farklı yol koşullarında patinajı engellediği ve böylece bir elektrikli otomobilin sürüşü esnasında kararlılığının artırılmasına yardımcı olduğu görülmüştür. Bir sonraki adım sistemin gerçek bir otomobil üzerinde ve gerçek yol şartlarında denenmesi olarak planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] ANA YAYINCILIK, Ana Britannica Genel Kültür Ansiklopedisi, Cilt 24, Sayfa 346-347, (1994)
- [2] CHAN, C.C, CHAU, K.T., An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 1, pp. 3-13, February (1997)
- [3] CONSOLI, A., Propulsion Drives for Light Electric Vehicles, International Aegean Conf. on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), Vol. 2, pp 365-375, Kuşadası (1995)
- [4] SIEMENS CORP., Review, Spring (1993)
- [5] ANLAŞ, Y., Şasi 2, Aktarma Organları, MEB Yayınları, (1984)
- [6] MAY, E., CROUSE, W.H., Automotive Mechanics, Sydney, (1987)

- [7] HILLIER, V.A.W., Motor Vehicle Basic Principles, Hutchinson, (1988)
- [8] ARICCHI, F., CRESCIMBINI, F., DI NAPOLI, A., SANTINI E., A Sliding Mode Control Strategy for Electrical Drive Without Differential Gearbox, Proc. International Conference on Electrical Machines (ICEM), Vol.1, pp 351-355, Paris, September (1994)
- [9] DEMÝREL A., Elektrikli Tařýtlar Ýçin Dođrudan Sürüřlü Ve Bulanýk Patinaj Önleyicili Bir Tahrik Sistemi, Doktora Tezi, ÝTÜ, Ýstanbul,(1998)
- [10] KRUSE, R., GEBHARDT, J., KLAWONN, F., Foundations of Fuzzy Systems, West Sussex, (1995)
- [11] KLIR, G.J., YUAN, B., Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications, New Jersey, (1995)
- [12] JAMSHIDI, M., VADIEE, N., ROSS, T.J., Fuzzy Logic and Control, Software and Hardware Applications, New Jersey, (1993)
- [13] LEE, C.C., Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 20, No. 2, pp. 404-418, April (1990)
- [14] LEE, C.C., Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part II, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 20, No. 2, pp. 419-435, April (1990)