

## BAĞIMSIZ SÜSPANSİYONLU TİCARİ ARAÇLARDA ELEKTRONİK KONTROLLÜ DÜMENLEMENİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet ADIYAMAN<sup>1\*</sup>, Mustafa ACAROĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Konya Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği ABD, Konya Türkiye

\*adiyaman.ahmet@gmail.com, acaroglu@selcuk.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada; hava süspansiyonlu ticari ve ticari olmayan araçlarda kullanılan dümenleme mekanizmasının Ackermann prensibi ile elektronik olarak kontrol edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Çalışma mekaniği SolidWorks CAD programında modellenmiş, pratiksel uygulaması gerçekleştirilmiş ve Arduino işlemci kullanılarak step ve DC motorlarla kontrol denemeleri üzerinde çalışılmıştır. Step motorla adım kontrol denemesi üzerinde çalışılırken, dc motor ile zaman ve sensör verileri incelenmiştir. Çalışma mekaniği denemesi yapılan 3 model için revize edilmiş ve Arduino yazılımı üzerinde yapılan revizyonlarla çalışma tamamlanmıştır. Adım motorun adım yük ve yoldaki gürültülerden çabuk etkilenebileceği gözlemlendiğinden dolayı adım motor kontrolü yerine DC motor açılı kontrolü sağlanarak yapılan çalışmadan daha iyi sonuç alınabileceği gözlemlenmiş ve çalışmanın uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Mekaniğin ve döner mafsalların yataklamalarla desteklenmesi gerektiği, sürtünmenin minimuma indirip pozisyon kontrolünün doğru yapılması durumunda DC motordan verim alınabileceği gözlemlenmiş, hassaslığın daha önemli olması durumunda servo motor da kullanılabileceği üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır vasıta araçları, elektronik kontrol dümenleme mekanizması, süspansiyon sistemi, Ackermann elektronik uygulaması

## **INVESTIGATION OF ELECTRONICALLY CONTROLLED STEERING SYSTEM IN INDEPENDENT SUSPENSION EQUIPPED COMMERCIAL VEHICLES**

### **Abstract**

In this study; we research that whether the steering mechanism is used in commercial or non-commercial vehicles can be controlled electronically with the Ackermann model. The working mechanics were modeled in SolidWorks CAD program, practical application was performed and controlled with Arduino processor by using stepper and DC motors. Step control experiment was carried out with step motor, time and sensor analyzed experiment was carried with dc motor. The study was revised for the 3 models that were tested mechanics and the study was completed with revisions made on Arduino software. Cause of the stepper motor step jumping problem; instead of the stepper motor, DC motor close circuit control is made possible. It was observed that the mechanics and rotary joints should be supported with bearings, if the friction is minimized and the position control is performed correctly, the efficiency can be obtained from the DC motor and the servo motor can be used if the accuracy is more important.

**Keywords:** heavy vehicles, electronic control steering mechanism, suspension system, Ackermann electronic application

### **1. Giriş**

Günümüzün hemen tüm hava ve kara araçlarında süspansiyon sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemlerin genel mekanik ve eğer mevcut ise elektronik yapısı; maruz kalacağı titreşim seviyesi, göz önünde bulundurulan yükün şiddeti, frekansı ve uygulamanın süresi göz önünde bulundurularak tasarlanır. Süspansiyon sistemlerinin kullanılmasındaki temel amaç sisteme etki eden titreşimleri minimum seviyeye indirmektir.

Günümüzdeki araçlarda kullanılan süspansiyon sistemleri sabit ya da bağımsız olmak üzere iki ana başlıkta incelenir. Süspansiyon sistemlerinde ise yaylanan kütle ne kadar artarsa aracın sürüş güvenliği ve konforu aynı oranda artar. Bağımsız süspansiyon sistemlerinde yaylanan kütle fazla olması nedeniyle sabit süspansiyon sistemlerine göre daha güvenli ve daha konforlu sürüş imkânı sunar.

Çalışmamızda birden fazla aks bulunan ağır hizmet tipi motorlu ya da motorsuz taşıtlardaki dümenleme modelinin, Ackermann teorisinin elektronik uygulanabilirliğini inceledik. Dümenleme kontrolü; birbirleriyle modüller halinde birleşen araçlarda direksiyonlama için kaçınılmaz bir ihtiyaç haline gelirken, Aks sayısı 2-5 akslı araçlarda da önemli bir ihtiyaç niteliğini taşımaktadır. Park kolaylığı, dar alanlarda manevra kabiliyeti, dönüş hareketlerindeki rahatlık, araca etki eden iç ve dış kuvvet bileşenlerin azaltılması, lastikler üzerinde oluşan yüksek aşınmanın önüne geçilmesi ve benzeri faydalar sağlamaktadır. Dümenleme mekanizmasının uygulama gereksiniminin zorunluluk haline gelmediği çok akslı araçlarda, akslar üzerinde mekanik zorlanmaya (eğilme gerilimine) bağlı kalarak hareket etmektedir [1].

Dümenleme mekanizmasının, hidrolik sistem kontrollü uygulamaları mevcut günümüzde mevcut olarak sağlanmaktadır [2]. Hidrolik, hidro-pnömatik ve hava süspansiyonlu (bağımsız süspansiyonlu) araçlarda yağın sıkışma hareketinin kontrollü tahriki ile akslar üzerinde yönlendirme kontrolü yapılmaktadır. Hava süspansiyonlu dingillere de uygulanabilen bu donanımlar, mekanikte yapılan iyileştirmelerle her bir dingile doğrusal kontrollü bir açı hareketi sağlamaktadır [3, 4].

Bu çalışmada mevcut sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını incelenerek, dümenleme mekanizmasının bağımsız süspansiyonlu ticari araçlarda elektronik olarak kullanılabilirliğini, uygulamalı olarak hazırlanmış mekanik bir model üzerinde deneysel yollarla incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Yöntem**

Bu çalışma kapsamında üretilmesi hedeflenen ürün için yapılan ön çalışmalar sırasında kavram geliştirilmiş olup, bu çalışma ile kavramdan tasarıma geçiş için yapılması gerekli teknik çalışmalarla prototip üretimi tamamlanmıştır.

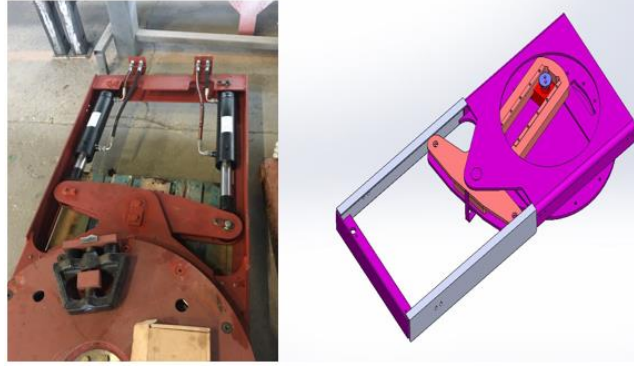
- Kavramdan Tasarıma Geçiş,
- Tasarım, Tasarım Geliştirme ve Doğrulama Çalışmaları,
- Elektronik Tasarım ve Pano Bağlantıları
- Kontrol ve Denetleyici Kontrol Sistemi Çalışmaları,
- Prototip Üretimi,

ile takip edilmiş olan aşamalar sıralanmıştır. Elektronik kontrolün sağlanması, sürücü ve donanımların kontrol edilmesi (DC motor devri, soğutucu, adım kontrolü, motor yön

kontrolleri, vb.) için mikro işlemci olarak Arduino Mega 2560 R3 [5, 6, 7], step motor kontrolü için Arduino Motor Sürücü Shield [8, 9], DC motor kontrolleri için L298N [10] sürücü devresi kullanılmıştır. Aşırı ısınmaların meydana gelmesini önlemek için fan ilave edilmiştir. Uygulanabilir gerçek sistemde araç aküsü kullanılabilir ve bunu temsilen 12V mini akü ve kullanılan mikroişlemcinin 5V gerilim gereksinimi için taşınabilir şarj cihazı eklenmiştir. Çalışmalarda tümleştirme ve doğrulama işlemleri için gerekli olduğundan Havya, montaj takımları (anahtar, tornavida vb...), matkaplar ve matkap takımları, anahtar takımları, multimetre ve 180° iletken açı cetveli de kullanılmıştır.

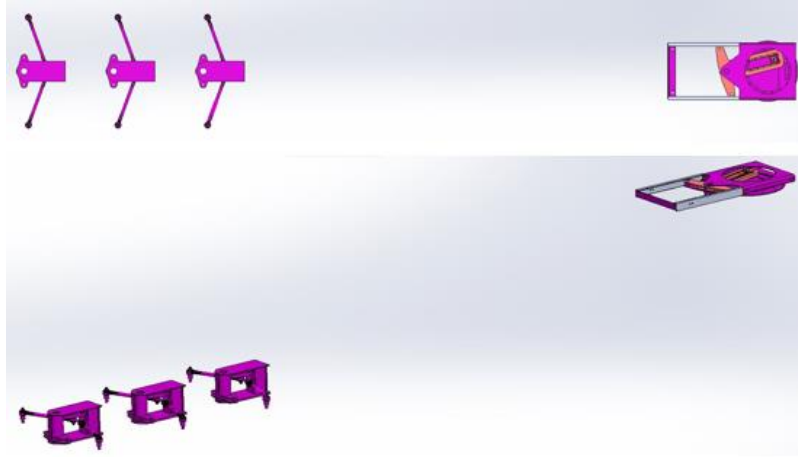
### *2.1. Çalışmanın Amacı*

Trafikte 8 dingilliye kadar, zaman zaman özel uygulamalarda çok daha fazla aksa sahip treyler ürün grupları, set halinde 5. Teker ile birbirine bağlanan ikili yarı römork ürünleri ve bunun gibi aks sayısı yüksek ürünler görülmektedir. Treyler ve römork sektöründe kullanılan aks sayısının artmasıyla yük taşıma kapasitesi artmakta ancak hareket kabiliyeti oldukça zayıflamaktadır. Bunun en önemli sebebi treyler-çekici bütünü, yönünü yalnızca çekicinin ön tekerlerinden almakta ve çekiciye bağlı treyler mekanik (eğilme gerilimi) zorlanmaya bağlı kalarak hareket etmektedir. Direksiyon hareketi ile orantılı olarak aks açıları ve yönleri doğru bir şekilde kontrol edilebilirse manevra/hareket kabiliyeti problemlerinin önüne geçilebilmektedir [1]. Doğru kontrol durumunda araçların sürüş konforu, sürüş güvenliği, yer ile lastiklerin temasındaki etkileşimin doğru sağlanması (süspansiyon verimi), lastiklerdeki aşınmasının önüne geçilmesi, kolay manevra kabiliyeti gibi birçok konuda avantaj sağlanmaktadır. Özellikle yağışlı havalardaki manevra kabiliyeti göz önünde bulundurulduğunda, trafiğin güvenliğini olumlu etkileyen bir faktör olarak da değerlendirilebilir. Direksiyonlama kontrolü sabit süspansiyon sistemlerinde uygulanamaz ancak bağımsız süspansiyon sistemlerine kolayca uygulanabilir. Mevcut hidrolik sistemli (hidrolik tahrik – selenoid valf ile elektronik kontrollü) ticari uygulamaları mevcuttur. Mevcut uygulamalarda king pimi mekanizmasında yer alan, hidrolik silindirleri içeren mekanik bir mekanizma mevcuttur (yarı-römork ve römork gibi motorsuz taşıt uygulamalarında). Çekicinin yönelme hareketi doğrultusunda 5. Tekerin yaptığı harekete göre mekanizma yön değiştirecek ve silindirlerden birinde strokta uzama meydana gelirken diğeri ise kapanır. Boşluksuz olarak yağ dolu silindirlerden aktarılan hidrolik hortumlar aracılığı ile arka ek bağlantılara aktarılır ve dümenleme kontrolü gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 1. Direksiyonlama sistemi king pimi (kral pim) ve çalışma prensibi [2]

Şekil 1’de gösterilen mekanizma, hidrolik hareketin nasıl aktarıldığını ve yağın sıkışma etkisinin nasıl gerçekleştirildiğini şekilsel olarak göstermektedir.



Şekil 2. Sabit dingillere uygulanan direksiyon mekanizma sistemi

Şekil 2’de direksiyonlama sisteminin bağlantı parçaları gösterilmektedir. Her bir lifte şekil 2 de açıklandığı gibi orantısız olarak uzama gerçekleşecektir. Montaj parçaları CAD programlarında daha önceden hassas olarak belirlenmiş ve hesaplanmış olarak monte edilmelidir. Aracın boy uzunluğuna bağlı olarak lift kol uzunlukları ve montaj yerleri değişkenlik gösterecektir.

Şekil 3’de yukarıda açıklanan sisteminin açılma değer çalışmaları gösterilmektedir. Açılar hiçbir zaman eşit değildir. Arkadan öne doğru eşit olmayacağı gibi, sağ ve sol tekerleklerdeki açılar da eşit olmayacaktır.

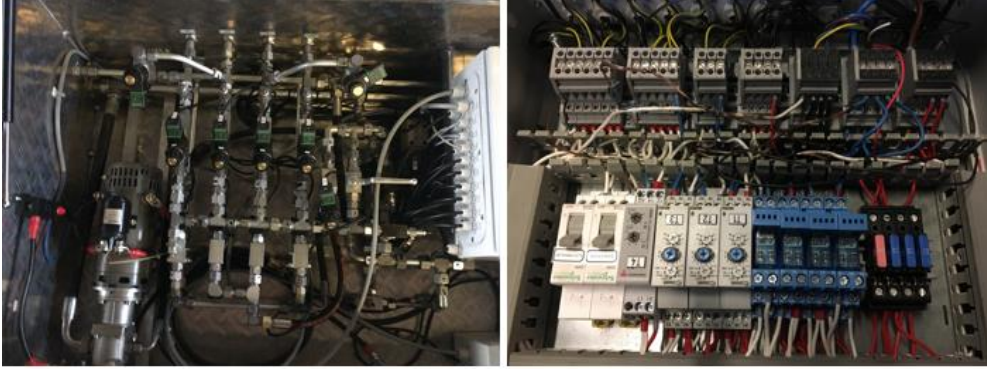
Mevcut sistemi incelediğimizde, yapılan her bir uygulama için (araç boyu, aks aralığı, dingil merkezleri, şase yapısından herhangi biri değişkenlik gösterdiğinde) ayrı çalışma yapılmalıdır. Tüm hesaplar yeniden yapılmalı, kol uzunlukları yeniden hesaplanmalı ve kontrol ünitesinde sağ-sol tekerleklerin açı kontrolünü yapan donanım revize edilmelidir. Akslardaki dümenleme tahriği bütünüyle hidrolik sadece yağ kontrolü

mekanik değildir. Bağlantıların birbirleriyle bağlantılı olması, değişkenliği, yağ aktarım gereksinimi (mekanik gereksinim), ek mekanik parçaların gereksinimi, uygulama alanındaki hacim gereksinimi ve uygulamasının zor olması bütünüyle elektronik olarak gerçekleştirilebilecek ve her ayrı mekanizmaya uygulanabilir bir sistem ihtiyacı doğurmaktadır.



Şekil 3. Mekanizma açıları ve sistemin CAD çalışması

Elektronik kontrollü mekanizmanın uygulanabilir olması durumunda alan gereksinimi azalacak, istenilen dingil aralıklarında (daha dar) kullanılacak ve uzamalı araçlarda da aynı verimi verebilir özellikte olacaktır. Hidrolik donanımlı sistemlerde hesaplamalar sabit bir boy üzerinden yapılmaktadır. Elektronik olarak yapılması durumunda kontrol mekanizması üzerinden değişkenler otomatik olarak değiştirilebilir ve tekerlekler üzerinde daha verimli açılar elde edilebilir. Aynı zamanda açıların doğruluğu net olarak kalibre edilebilir. Uygulamanın elektronik tahrikli ve tamamen elektronik kontrollü olması bir risk unsuru olarak değerlendirilir ise, mevcut donanımlarda da elektronik bir kontrol vardır. Sistemin hidrolik parçaları ve bağlantıları da karmaşıktır. Aynı zamanda mevcut araçların fren sistemleri bütünüyle elektronik kontrollüdür [11, 12, 13, 14]. Araçların viraj dönüş dengeleri, seviye konumları, fren sistemleri ve bazı araçlarda amortisörleri elektronik kontrollüdür.



Şekil 4. Kullanılan mevcut sistemin gerçek komponentleri ve elektronik kutusu elemanları

Şekil 4’de mevcut olan hidrolik sistemin hidrolik solenoid valfleri ve elektronik devre kutusu görülmektedir. Valfler kutudan gelen sinyallerle tahrik almakta ve yönlendirilmektedir. Kumanda ile de kontrol edilebildiği gibi manuel olarak çalışması sağlanabilir. Valfleri tetikleyen devre giriş çıkışları tümüyle hidrolik kontrollü önerimize büyük benzerlik göstermektedir. Elektronik kontrollü olarak kontrol edilebilmesi durumunda da kumanda üzerinden tetikli olarak programlanabilir.



Şekil 5. Teleskopik şase 6 sıra akslı düşük yataklı yarı römork

Şekil 5’deki gibi kademeli uzamalı şaseli araçlarda (teleskopik uzama) sistemden elde edilen açılar stabil değildir. Hidrolik tahrikli sistemlerde, hesaplamalar sabit boy üzerinden yapılmak zorundadır. Şekil 5’de gösterilen uzamalı şasenin yanı sıra, arasında mekanik bağlantı bulunmayan şaselerde ise kullanılabilirliği daha da güçlenecektir. Aralarında mekanik bağlantı gereksinimi olmak zorundadır. Bundan dolayı bu çalışma kapsamında; uzunluğu büyük araçların, aks hareketlerini kontrol ederek kullanıcıya daha güvenli, daha konforlu ve daha rahat sürüş imkânı sağlayan ve yaşanan problemlerin önüne geçilmesini amaçlayan, ölçekli ön prototip ürün çıktısı hedeflenmektedir. Bu ön prototip çıktısı, birebir boyutlarda uygulanabilir altyapıyı sağlayacaktır.

Taşımacılık sektöründe yaşanan bu ve benzeri sorunları, mevcut mekanik yapıların aksine elektronik olarak kontrol edilecek sistemin tasarımını ve şu anda kullanılan mevcut sistemlerin uygulanabilir sınırlılığının üstünde bir sistemin

oluşturulması hedeflenmektedir. Bu sektöre, aynı ihtiyacı karşılayan, yurtiçinde olmayan, daha kolay satın alınabilir (ekonomik), daha kullanışlı, teknik desteği daha kolay erişilebilir olan ve daha basit mekaniğe/sisteme sahip bir ürün önerisinde bulunmaktadır.

## *2.2. Yöntem*

Bağımsız süspansiyonlu ticari araçlarda elektronik kontrollü dümenlemenin araştırılması içerikli çalışmamız aşağıda belirtilen aşamalarla planlanmıştır. Teorik ve pratik çıktılar uygulamalı olarak test edilmiş ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada deneysel yöntem kullanılmıştır. Deneysel çalışma Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Motor Test ve Yakıt Laboratuvarında iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada teorik ve pratikte mevcut çalışmalar göz önünde bulundurulmuş incelenmiş ve önerilen sistemin ölçeklendirilmiş prototip mekanik tasarım ve 3D modellemesi yapılmıştır, uygulama ve deneysel ölçümlerle sonuç incelenmiştir.

Bu testler gyroskop ile sistemin dengesi ve elektronik algılayıcılarla dönme açısının (19 derece) doğrulamaları olmuştur. Araçlarda bu açıların önemi ve yapıların genel değişkenleri bazı çalışmalarda incelenmiştir [2, 15]. Treylerlerin lastik ebatları ve süspansiyon sistemleri dikkate alındığında bu açılardaki optimum verimlilik, dümenleme mekanizmalarında 19 derece olarak belirlenir. Özellikle düşük yataklı araçlarda lastiklerin diğer ekipmanlara çarpması nedeniyle bu açının sınırlandırılması gerekmektedir. Araçların yerden yükseklikleri (şase altından) seviye ventilinin düşük pozisyona ayarlı olduğu durumda 70 cm'ye kadar düşmektedir. Diğer ekipmanların da yer ihtiyacı nedeniyle hareket kabiliyetinde sınırlılık meydana gelir. Çalışma özellikle düşük yataklı ticari araçlar dikkate alınarak yapılmıştır. Ancak model çalışmamızda yer ihtiyacı olmadığından, açıda herhangi bir sınırlamaya gidilmemiştir. 19 derece birçok uygulama için yeterlidir.

Çalışmada izlenen yöntem basamakları şu şekildedir;

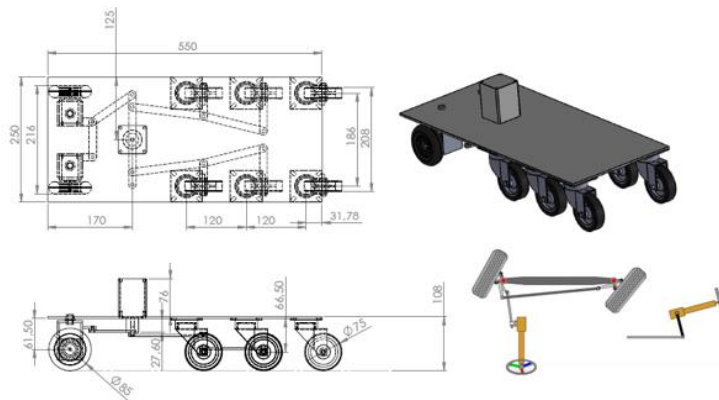
- 1) Malzeme Siparişi ve Tedarik Sürecinin Tamamlanması
- 2) Ölçeklendirilmiş Mekanik Tasarım
  - a) Temel gövde / ana yapı tasarımı,
  - b) Şasi tasarımı,
  - c) Motor bağlantı ve tahrik kontrol mekaniği tasarımı,



- d) Elektrik paneli ve alanı tasarımı,
  - e) 3D modelleme çalışmasından üretim faaliyeti için sac açılımı çalışmasının yapılması 'Base Flange'
  - f) Tasarım çalışmalarının mekanik olarak (parça parça) üretimi ve elde edilmesi,
  - g) Tümlleştirme işlemleri,
  - h) Mekanik Test/Doğrulama,
- 3) Elektronik Çalışmalar
    - a) Sürücü, kontroller, motor, güç kaynağı ve diğer elemanların elektroniği,
    - b) Haberleşme elektronik donanımı,
    - c) Sensör bağlantıları ve elektronik çalışmaları,
    - d) Güvenlik önlemleri, buton, kullanıcı girdileri vb. elektronik donanımı,
    - e) Tümlleştirme işlemleri,
    - f) Elektronik Test/Doğrulama,
  - 4) Yazılım ve Görüntüleme (Bilgisayar Çıktısının Alınması)
    - a) İşlemci yazılımı,
    - b) Kontrol programı yazılımı,
    - c) Seri iletişimin kurulumu,
    - d) Test/Doğrulama Çalışmaları,
  - 5) Ön Prototipin Tamamlanması

### 3. Deneysel Sonuçlar

Çalışmanın deneysel sonuçlarının incelenmesi bir prototip hazırlanmak üzere Solidworks CAD modülü ile modelleme çalışması yapılmıştır.



Şekil 6. Solidworks temel modelleme geometrisi ve ölçümlendirmeler

Şekil 6’da gösterilen çalışmada mevcut olarak kullanılan hesaplamalar Ackermann kuralı dikkate alınarak yapılmıştır. Ackermann prensibine göre; tekerleğin yapması gereken sapma açıları aracın iz genişliği (w), en arka teker merkezine göre aks aralığı (l) ve aracın dönüş yarıçapına (r) göre formüle edilebilir. R dönüş yarıçapı her tekerlek için açılar farklı olsa da aynı referans noktadadır ve dik uzaklığı ifade etmesi nedeniyle uzaklıklar eşittir. Formüller ve matematiksel hesaplamalar aşağıdaki formüle göre yapılmıştır;

Formül (1):  $\tan sol\_aks\_x = \frac{Ax+Ay}{Rx-\frac{W}{2}}$  sol teker genel formülü (sola dönüş senaryosunda),

Formül (2):  $\tan sağ\_aks\_x = \frac{Ax+Ay}{Rx+\frac{W}{2}}$  sağ teker genel formülü (sola dönüş senaryosunda).

Genel formülleri incelediğimizde Ax + Ay bize en arka aks ile olan x. sıradaki dümenlenir aks ile en arka sabit aks mesafesini ifade etmektedir. Biz bu genel ifadeyi L yani aks aralığı olarak ifade edebiliriz. Sağ ve sol tekerleklerin dönme açıları birbirine eşit olmayacaktır. Sola dönüşte sol tarafta bulunan tekerleklerin dönme açıları sağ tekerlere göre daha büyük olacaktır. Sağa dönüş senaryosunun hesaplanması durumunda sağ ve sol tekerlek genel formülleri yer değiştirir.

Formül (3):  $\tan sol\_aks\_x = \frac{Lx}{Rx-\frac{W}{2}}$  sol teker genel formülü (sola dönüş senaryosunda),

Formül (4):  $\tan sağ\_aks\_x = \frac{Lx}{Rx+\frac{W}{2}}$  sağ teker genel formülü (sola dönüş senaryosunda).

#### Direksiyonlanan ön aks teker açılarının hesaplanması;

Çalışmada tüm ölçümler formül (3) ve formül (4)’de verilen formüllere göre yapılmıştır. Sol ve sağa dönüş durumuna göre açılar değişeceğinden tüm hesaplamalarda sola dönüş senaryosu referans alınmıştır. Bulunan değer radyan olarak bulunacağından derece birimine çevrimi yapılır.

Formül (5):  $\tan sol\_aks\_1 = \frac{L1}{R1-\frac{W}{2}} = \frac{473}{1129-\frac{104}{2}} = 26.3^\circ$  (Sola dönüşte sol ön aks açısı)

Formül (6):  $\tan sağ\_aks\_1 = \frac{L1}{R1+\frac{W}{2}} = \frac{473}{1129+\frac{104}{2}} = 24.2^\circ$  (Sola dönüşte sağ ön aks açısı)

#### Önden 2. aks teker açılarının hesaplanması;

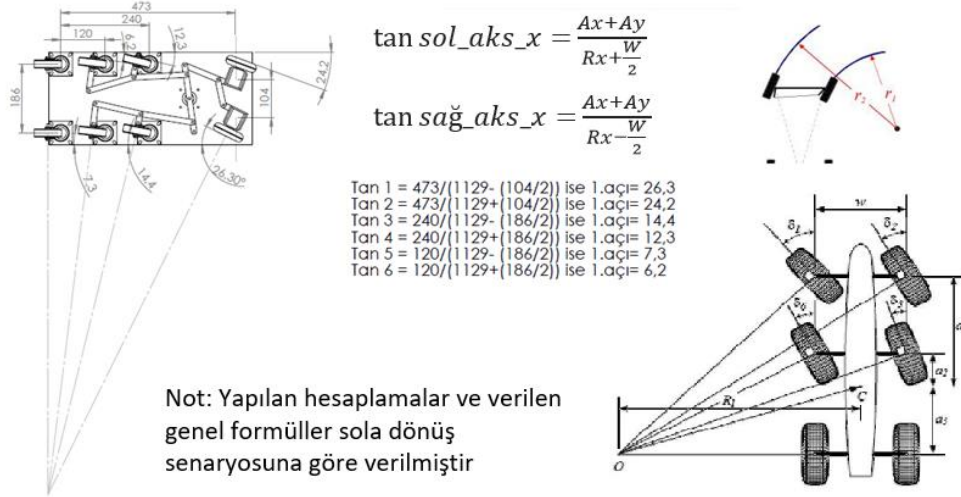
Formül (7):  $\tan sol\_aks\_2 = \frac{L2}{R2-\frac{W}{2}} = \frac{240}{1129-\frac{186}{2}} = 14.4^\circ$  (Sola dönüşte sol 2. aks açısı)

Formül (8):  $\tan sağ\_aks\_2 = \frac{L2}{R2+\frac{W}{2}} = \frac{240}{1129+\frac{186}{2}} = 12.3^\circ$  (Sola dönüşte sağ 2. aks açısı)

#### Önden 3. aks teker açılarının hesaplanması;

$$\text{Formül (9): } \tan \text{sol\_aks\_3} = \frac{L3}{R3 - \frac{W}{2}} = \frac{120}{1129 - \frac{186}{2}} = 7.3^\circ \text{ (Sola dönüşte sol 3. aks açısı)}$$

$$\text{Formül (10): } \tan \text{sağ\_aks\_3} = \frac{L3}{R3 + \frac{W}{2}} = \frac{120}{1129 + \frac{186}{2}} = 6.2^\circ \text{ (Sola dönüşte sağ 3. aks açısı)}$$



Şekil 7. Solidworks programında incelenen ve teorik olarak doğrulanan açılar

Şekil 7’de, yapılan hesaplamalara göre modelin geometrisi tasarlanmış, ölçümlendirilmiş ve modelleme çalışmasının tamamlandığı gösterilmektedir. Temel direksiyonlamanın kinematik tasarımı Ackermann prensibi koşullarını sağlamalıdır. Araç dönüş durumundayken sağ ve sol ön tekerleklerin eksen uzantıları, arka aksın eksen uzantısı üzerinde aynı noktada kesişiyor olmalıdır [15].

Olabildiğince az direksiyon oranı, kolay kullanım için önemlidir. Direksiyon oranının düşük tutulması durumunda, oluşan direksiyon kuvvetleri sadece direksiyon oranı ile belirlenmez. Direksiyon kuvvetleri; dönüş dairesi boyutu, ön aks yükü, lastik profili, tekerlek süspansiyonu ve doğrultusu (kaster, king-pin açısı, direksiyon yuvarlanma dairesi yarıçapı) ile belirlenir [15].



Şekil 8. Model Prototip Solidworks CAD modeli

Şekil 8’de gösterildiği gibi matematiksel hesaplamalar ve geometrinin doğru bir şekilde modellenmesinin ardından Solidworks CAD modülü ile yapılan modelleme çalışmasının prototip üretim faaliyeti gerçekleştirilmiştir.



Şekil 9. Ackermann modeline göre modellenen mekanik alt düzel ve genel montaj

Şekil 9’da Solidworks modeli gösterilen prototip çalışma, matematiksel modelleme ve formülasyona birebir uyumludur.

Birden fazla tekerlekte dümenleme mekanizmasının kullanılması ile;

- Aksların her biri üzerinde etkiye sahip olan yük seviyesinin düşürülmesi,
- Araç modelinin yol tutuşunun iyileştirilmesi ve dönüş açısındaki verimliliğin artırılması,
- Dümenlenen akslarda herhangi bir hasar meydana gelmesi durumunda olası riskin azaltılması,
- Tek akslı dümenlemeye karşı güvenilirliğinin artırılması,
- Dikey moment etkisinin akslar arası dağılımının sağlanması ve her bir tekerleğe gelen ani şokların etkisindeki titreşimlerin azaltılması,
- Manevra kabiliyetinin artırılıp sürtünme ve tekerlek aşınmalarının etkisinin azaltılması,

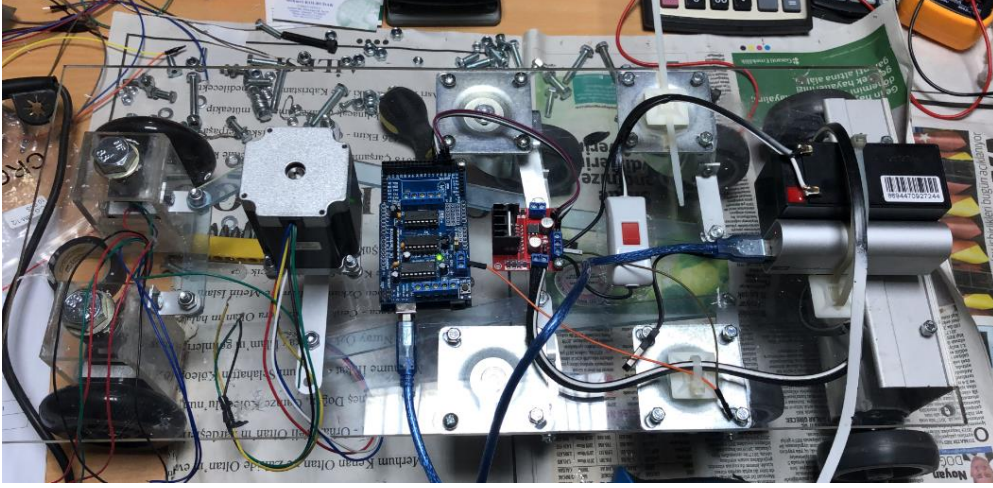
sağlanmıştır.

### 3. Sonuçlar

Ackermann modeline göre modellemiş olduğumuz çalışmada izlenen verilere göre, uygulama hidrolik donanımlı mevcut modellere oranla kullanılabilir. Çalışma Solidworks programında modellenmiş, elektronik olarak Arduino işlemci ile kontrol edilebilmiştir. Adım ve DC motor (firçasız) kullanılarak gözlemler ve sonuçlar incelenmiştir.

### 3.1. Adım motorlu kontrol düzeneği

Dümenleme mekanik aksamı adım motorla kontrol denemesi ve ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler üç kez yapılmak üzere tekrarlanmış, çıktılar deneysel verilerle incelenmiştir.



Şekil 10. Adım motorlu çalışma

Şekil 10'da adım motorlu çalışmanın mekaniği gösterilmektedir. Adım motor kontrol denemesinde fabrika verilerinin özellikle ilk tahrikte stabil olarak elde edilemediği gözlemlenmiştir. Gerçek sistem üzerinde uygulanabilirliği takdirde güvenlik katsayısını dikkate alırsak, çok büyük motorlara gereksinim duyulacağından gerçek sistem üzerinde de uygulanamayacağı sonucuna varılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen veriler de aynı sonucu vermektedir.

Sisteme komut verildiğinde; Ackermann Teorisine göre tekerleklerin ön tekerden arka tekere doğru sırası ile (sol dönüş uygulamasında) sol tekerleklerde,  $26,3^\circ$ ,  $14,4^\circ$ ,  $7,3^\circ$  ve  $0^\circ$  açı yapmaları, sağ tekerlerin ise  $24,2^\circ$ ,  $12,3^\circ$ ,  $6,2^\circ$  ve  $0^\circ$  açı yapmalarının gözlenmesi gerekirdi. Çalışma çıktısında sonuçlar istenildiği şekilde gözlemlenmemiş ve 3 çıktıya dayandırılmıştır. Açılarının hassas olması nedeniyle ölçüm hataları (yarım derecelik farklılıklar gibi), sistemde oluşan mekaniksel boşluklar (boşlukların alınması durumunda kullanılan malzemelerde herhangi bir yataklama olmadığından aşırı sıkışma meydana gelmektedir) ve step motorun adım hatasıdır. Step motor her denemede yerin tepki kuvvetine göre farklı bir tepki vermiş ve gerçek sistemde kullanılmasının oldukça riskli ve kullanışsız olduğu gözlemlenmiştir.

Karşılıklı teker açılarından aynı sonuç alınması ölçüm hatalarına dayandırılmıştır. Oluşan farklılıkların daha stabil ölçülmesi ancak her tekere referans noktası verilip hassas

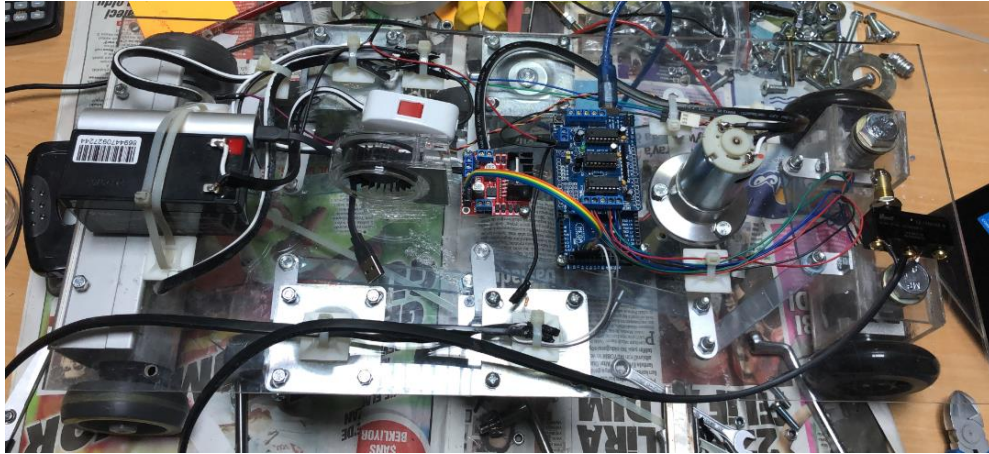
sensörlerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Ölçümler mekanik olarak yapılmıştır. Sağ ve sol tekerleklerinin tüm uygulamalarda aynı oranda değişmemiş olması da sistemdeki mekaniksel hatalardan meydana gelmektedir. Boyutları gereği alt mekaniğinde hassas bir yataklama yapılmamıştır. Her aksın sağ ya da sol tekerlek açısı değerleri kendi içinde değerlendirildiğinde ise aynı açığı yapmamalarının tek nedeni step motorun her uygulamada adım atlamış olmasıdır. Yerin tepki kuvvetine bağlı olarak adım atladığı gözlemlenmiştir.

Çalışmada gözlemlenen çözümlerden biri de çoklu aks uygulamalarında herhangi birinin gerilmeler ve dış etkiler yoluyla adım atlama ihtimali göz önünde bulundurularak, sistemi tam tersi olumsuz yönde etkileyebileceğinden adım motor kombinasyonunun Ackermann modeli için kullanılmayacağı gözlemlenmiş bulunmaktadır.

Uygulamanın step motor denemesinden verim alınmadığından DC motorlu kontrol düzeneği mekanik yapı tasarımı ve yazılımda revizyona gidilmesine karar verilmiş, dc motor kontrolü ile deneme yapılması öngörülmüştür.

### 3.2. DC Motorlu kontrol düzeneği

DC motorlu kontrol düzeneği kullanılarak yapılan bir diğer çalışmayla Ackermann modeli tekrar incelenmiştir. Hem bakım ihtiyacının daha az olması, daha az Voltaj ile (araçlarda 24 Volt mevcuttur) daha yüksek güç üretmesi nedeniyle adım motora göre çok daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 11. DC motorlu çalışma

Şekil 11’de görülen DC motorlu çalışmada; DC motorların tümü (arka çekiş motorları ve dümenleme mekanizması eyleyici DC motor) time domain ile kontrol edilmiştir. Time domain ile olumlu sonuç alınmış ve modelin uygulanabilirliği açıkça

gözlemlenmiştir. DC motor boyutları ve güç oranları incelendiğinde yerden yaklaşık 25 cm yüksekte bulunan hemen hemen her ağır tip araçlara uygulanabilirliği anlaşılmıştır.

İdeal denklem sonuçlarına göre bu sonuçların da farklı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu farklılıklar DC motorun kontrol yeteneğinden değil, sistemdeki boşluklar nedeniyle yerin tepki kuvvetinin oluşturduğu farklılıklardır. Sürtünme kuvvetine bağlı olarak sistemdeki boşluklara göre alt mekanik çıktısında hataların olduğu step motorlu kontrol düzeneği incelemesinde gözlemlenmişti. Boyutların küçük olması nedeniyle herhangi bir yataklama yapılamamıştır. Ancak sonuçların hemen hemen aynı oranda değiştiği gözlemlenmiştir. Elde edilen çalışma çıktılarına göre DC motor, elektronik aks kontrol mekanizmasında kullanılabilir bir seçenektir. Servo motor kullanılması durumunda ve yataklamanın daha doğru yapılması durumunda çok daha stabil veriler elde edileceği ortaya konmuştur. Bu motorların boyutları gereği de montaj gereksinim alanları yeterince azdır.

DC motor kontrolü ve elektronik bir aks kontrol mekanizması yüksek hızlarda hareket eden araçlar için bir risk teşkil etmemektedir çünkü mevcut sistemlerin üzerinde de elektronik yapılar mevcuttur ve içerikte örnekleri ile verilmiştir.

Bu çalışmada enkoder gibi açı verilerini algılayan elektronik ekipmanlar ve daha stabil kontrol/elektronik düzenekler modelin boyutlarından dolayı denenmemiştir. Ön çekici tekerlerinden elektronik olarak mems sensörlerle alınabilecek herhangi bir açı değeri, bluetooth haberleşme ile reel uygulamalarda PLC işlemcilerle kontrol edilebilir. Şasenin herhangi bir limitliliği söz konusu değildir ve mevcut olan sistemlerden daha avantajlıdır. Dingil açıklıkları istenildiği gibi değiştirilebilir ve bu uygulamalar sensörler aracılığı ile okunarak yazılan daha ayrıntılı bir yazılım ile işlenebilir. Tüm tekerleklerin açı doğrulamaları gene sensörler aracılığı ile okunarak doğrulaması yapılabilir. Olası riskler mekanik limitsizliklerle de doğrulanabilir. Hem elektronik hem mekanik doğrulama gerçekleştirilebilir.

Dümenleme mekanizmaları sadece trafikte yer alan araçlar için söz konusu olmayıp, limanlarda kullanılan yük taşıma ekipmanları için de kullanılabilir. Mevcut hidrolik sistemler her defasında araç verilerine bağlı olarak dizayn edilip yeniden kombine edilmelidir. Ancak elektronik ortamda yazılan ayrıntılı bir yazılım ile tüm araç ve ekipmanlara uygulanabilir bir sistem olacağı gözlenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Kuralay, S., Direksiyon Sistemi, <http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan/Sunu%2018%20Direksiyon%20Sistemi.pdf>: [Erişim Tarihi: 03.07.2018].
- [2] Breeman, Steering and Suspension Systems Standard and Custom Made, Netherlands, [http://www.swalfgroup.com/PDF/en\\_steering\\_systems\\_Breeman.pdf](http://www.swalfgroup.com/PDF/en_steering_systems_Breeman.pdf): [Erişim Tarihi: 24.02.2018], 49.
- [3] Knowles, D., 2011, Automotive Suspension & Steering Systems, 5nd Edition, U.S., 1034.
- [4] Bauer, W., 2011, Hydropneumatic Suspension Systems, Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, Germany, 250.
- [5] Atmel Atmega, 2014, 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash, Datasheet, [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2549-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf), [Erişim Tarihi: 03.02.2019], 435.
- [6] Arduino, 2019, Arduino mega 2560-R3 IDE Bağlantı Programı ve Sürücüsü, <http://www.arduino.cc/en/Main/Software>, [Erişim Tarihi: 03.02.2019].
- [7] Arduino, 2019, Arduino mega 2560-R3 schematic. [http://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560\\_R3-sch.pdf](http://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-mega2560_R3-sch.pdf), [Erişim Tarihi: 03.02.2019], 1.
- [8] Adafruit Industries, 2018, Arduino Motor Sürücü Shield, <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-motor-shield.pdf>, [Erişim Tarihi: 16.02.2019], 54.
- [9] Allegro Microsystems, 2009-2014, A4988 DMOS Microstepping Driver with Translator, [https://www.pololu.com/file/0J450/a4988\\_DMOS\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf](https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf), [Erişim Tarihi: 16.02.2019].
- [10] ST Microelectronics, 2000, L298N Dual Full-Bridge Driver Datasheet, [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/L/2/9/8/L298N.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/2/9/8/L298N.shtml), [Erişim Tarihi: 10.02.2019].
- [11] DAF, Electronically Controlled Air Suspension,



- [https://www.daf.global/~media/files/daf%20trucks/trucks/new%20cf%20and%20xf/infosheets/ecas/69637\\_daf\\_ecas\\_en.pdf](https://www.daf.global/~media/files/daf%20trucks/trucks/new%20cf%20and%20xf/infosheets/ecas/69637_daf_ecas_en.pdf): [Erişim Tarihi: 03.03.2018], 2.
- [12] VSE, 2009, Dynamic Truck and Trailer Suspension, [http://www.foma.se/wp-content/uploads/2014/10/DTS\\_ENG\\_2009.pdf](http://www.foma.se/wp-content/uploads/2014/10/DTS_ENG_2009.pdf): [Erişim Tarihi: 11.04.2018], 24.
- [13] WABCO, 1999, Electronically Controlled Air Suspension (ECAS) for Trucks, Maintenance Manual No. 36 Issued 7-99, <https://www.trilextrayler.com/image/catalog/TRILEX/Steering/Maintenance-Manual-Trucks.pdf>: [Erişim Tarihi: 03.03.2018], 23.
- [14] WABCO, 2007, Trailer EBS D Sistem Tanımı, <http://inform.wabco-auto.com/intl/pdf/815/00/20/8151400203.pdf>: [Erişim Tarihi: 02.03.2018], 72.
- [15] Burha, M., 2010, İki Akstan Dümenlenen Üç Akslı Özel Maksatlı Bir Taşıtın Direksiyon Mekanizmasının Kinematik Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/3927/1/10521.pdf>: [Erişim Tarihi: 18.05.2019], 113.