

**Araç Takip Sistemi Verilerini Kullanarak Elektrikli ve Hibrit
Taşıtlar için Enerji Yönetim Sistemi Algoritmalarının
Optimizasyonu ve Ticari/Kamusal Kullanıma Yönelik Motorlu
Taşıtlar için Optimal Hibritleştirme Alternatiflerinin
Değerlendirilmesi**

Program Kodu: 1001

Proje No: 115M593

Proje Yürütücüsü:
Doç. Dr. S. Çağlar Başlamışlı

Araştırmacılar:

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK
Dr. Kerem KÖPRÜBAŞI

Bursiyerler:

Bayramcan İNCE
Ali AMİNİ
A. Arda ARAZ
E. Teoman ÖNDER

MAYIS 2019
ANKARA

ÖNSÖZ

Günümüzde, Elektrikli ve Hibrit İtki Sistemlerine sahip güç aksamalarıyla ilgili Ar-Ge faaliyetleri Otomotiv sanayinde oldukça hız kazanmıştır. Salt elektrikli aracın batarya maliyetinin yüksek olması, dolun istasyonlarının her yerde bulunmaması, tam dolu batarya ile 150-200 km'yi geçmeyen menzile sahip olmalarına karşın, içten yanmalı motorlara göre daha basit yapıda ve çevreci olmaları sebebiyle, mühendisler, elektrikli motoru içten yanmalı motorla birlikte kullanarak, hibrit tahrik sistemlerini tasarlamışlardır.

Mevcut projenin odağında olan ve yolcu taşımacılığında kullanılan hibrit tahrikli otobüslerin, Dünya çapında satışları artmaktadır. Proje esnasında, bahsi geçen taşıtların enerji yönetim sistemi algoritmalarının trafik bilgisi tabanlı en iyilenmesine yönelik teorik bir çalışma geliştirilmiştir. Ayrıca, projenin deneysel faaliyet kısmında, üç tekerlekli prototip hibrit bir taşıt üretilmiş ve enerji yönetim sistemi algoritmaları proje ekibi tarafından geliştirilmiştir.

Proje, proje bursiyerleri olan Bayramcan İnce, Ali Amini, A. Arda Araz ve Teoman Önder, sürüş çevrimlerinin tespiti esnasında PCA analizi konusunda bizleri aydınlatan Prof. Dr. Murat Caner Testik, ECMS ve DP algoritmaları konusunda bize destek veren Toyota Research Center dan Dr. Ali Boyalı, gönüllü çalışan öğrenciler Metehan Cura, Utku Aras Kula ve İlkey Ocak'ın yoğun katkıları, İngiltere'den Honda diyagnostik kitini getiren Fatin Emre Güneş, ekipmanlarının kullanılmasında cömertlik gösteren Hacettepe Formula Student takımı, tüm üretimlerde emeği bulunan Makine Mühendisliği Bölüm Teknisyeni Hasan Çelikli, Elektrik Motor uzmanlığı konusunda desteklerini esirgemeyen Dr. Cemil Ocak, Ford Otosan A.Ş. den Dr. Kerem Köprübaşı'nın hibrit taşıt tecrübeleri ile, ve başta motor üretimi ve karakterizasyonu konusunda Ege Dinamik, Batarya paketi ve BYS üretimi konusunda Volrad ve ARG3, Taşıtların hız verilerinin toplanması/sağlanması konusunda Arvento mobil Sistemler A.Ş. ve MAN Türkiye A.Ş., motor sürücülerinin tedariği konusunda Even Elektronik ve İrob gibi birçok yerli firmadan hizmet alımı yapılarak ve destek/bilgi/know-how alınarak tamamlanabilmiştir. Bu bağlamda, tüm katılımcılara ve mali desteği sağlayan TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
2.1 Giriş	2
2.2 Elektrikli/ Hibrit Otobüs Teknolojisine Genel Bakış	3
2.2.1 Seri Hibrit Yapılandırma Örnekleri	3
2.2.2 Paralel Hibrit Yapılandırma Örnekleri	4
2.2.3 Batarya Elektrikli Otobüs (BEB) Teknolojisi	5
2.3 Elektrik/Hibrit Otobüsler İçin Piyasa Eğilimi	6
2.4 Elektrikli/Hibrit Otobüslerin Değerlendirilmesi	8
2.4.1 Ekonomik Verimlilik	8
2.4.2 İşletme Özellikleri	10
2.4.3 Enerji Depolama Sistemleri	10
2.5 Sonuç	12
BÖLÜM 3. SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİNİN OLUŞTURULMASI	14
3.1 Giriş	14
3.2 Genel Sürüş Çevrimlerinin Elde Edilme Metodolojisi	16
3.2.1 Sürüş verisi toplama tekniği	17
3.2.2 Mikro Yolculuğun Üretilmesi	18
3.2.3 Veri Analizi	18
3.2.4 Sürüş çevriminin oluşturulması	18
3.3 Şehir İçi Otobüs Sürüş Çevrimlerinin Sınıflandırılması ve Ana Bileşenler Analizi (PCA) ...	24
3.3.1 Veri Toplama İşlemi	24
3.3.2 Ana Bileşenler Analizi (PCA)	25
3.3.3 Sürüş Çevriminde Kümeleme İşlemi	30
3.3.4 Sürüş Çevrimlerinin Makine Öğrenmesiyle Sınıflandırılması	36
3.4 Sonuç	42
BÖLÜM 4. HİBRİT ARAÇ BENZETİMİ	43
4.1 Giriş	43
4.2 Araç Mimarisi	43
4.3 Yol Dirençleri	45

4.3.1 Yuvarlanma Direnci	46
4.3.2 Rüzgâr ve Yokuş Direnci	46
4.3.3 Boyuna Dinamik	46
4.4 İçten Yanmalı Motor Modeli	47
4.4.1 İYM Tork-Devir Haritası	48
4.4.2 MAN TÜRKİYE A.Ş'ye Ait Enstrümanlı Otobüs ile Veri Toplama Testlerinin Değerlendirilmesi ve İYM Haritasının Oluşturulması	48
4.5 Elektrik Motor Modeli	54
4.6 Batarya Modeli	55
4.7 Sonuç	57
BÖLÜM 5. ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SÜRÜŞ ÇEVİMLERİ İÇİN UYGULANAN HİBRİT ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMALARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ	58
5.1 Giriş	58
5.2 Maksimum Batarya Doluluk Stratejisi	59
5.2.1 Yalnız Elektrik Motoru İtiş Modu	59
5.2.2 Hibrit İtiş Modu	60
5.2.3 Batarya Şarj Modu	60
5.2.4 Yalnız İçten Yanmalı Motor İtiş Modu	60
5.2.5 Yalnız Rejeneratif Fren Modu	61
5.2.6 Hibrit Fren Modu	61
5.3 Sınırlandırılmış Termostat Kontrol Stratejisi	62
5.4 Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY)	63
5.5 Adaptif EEMY	65
5.5.1 Adaptif EEMY Uygulaması	67
5.6 Dinamik Programlama (DP) Algoritması	69
5.7 220 Nolu Hat için Bir Hibridizasyon Önerisi	69
5.7.1 Sürüş Çevrimleri ve Operasyonel Şartlar	71
5.7.2 Sınırlandırılmış Termostat ve Maksimum Batarya Doluluk Oranı Algoritma Sonuçları	75
5.7.3 Adaptif / Adaptif Olmayan EEMY Sonuçları	80
5.7.4 Dinamik Programlama Sonuçları	85
5.8 Sonuç	85
BÖLÜM 6. PROTOTİP ARACIN TASARIMI, ÜRETİMİ VE VERİ TOPLAMA SİSTEMİNİN KURULUMU	90

6.1 Giriş	90
6.2 Şasi Tasarımı.....	90
6.3 Şasi Mukavemet Analizi	92
6.3.1 Şasi ve Kafes Üzerine Statik Yükleme.....	92
6.3.2 Ön süspansiyon Tarafında Uygulanan Darbe Yüğü	94
6.3.3 Arka süspansiyon Tarafında Uygulanan Darbe Yüğü.....	97
6.4 Şasi Üretim Süreci	101
6.5 Süspansiyon Tasarımı	103
6.5.1 Lotus Yazılımı ile Süspansiyon Analizi.....	103
6.6 Direksiyon Sistemi Tasarımı	106
6.6.1 Dönüş Yarıçapı ve Maksimum Tekerlek Dönüş Açılıarı	106
6.6.2 Ackerman Hatası	107
6.7 Fren Tertibatı	109
6.8 Çevre Birim Sistemlerinin Tanıtılması	111
6.8.1 Batarya Sistemi	111
6.8.2 Gaz Kelebeğini Kontrol Eden Servo Motorun Entegrasyonu.....	112
6.8.3 Veri Toplama Sistemi	114
6.9 CVT Haritasının Oluşturulması.....	130
6.9.1 Parça Ölçülerine göre CVT Oranı	130
6.9.2 Veri Toplama Yöntemiyle CVT Oranları.....	131
6.10 İçten Yanmalı Motor Karakterizasyon Çalışmaları.....	134
6.10.1 Tork Haritasının Oluşturulması	134
6.10.2 İçten Yanmalı Motor Yakıt Tüketim Haritasının Oluşturulması	137
6.11 Elektrik Motor Karakterizasyon Çalışmaları.....	140
6.11.1 Elektromekanik Tozlu Fren Dinamometre Testleri	142
6.12 Sonuç	144
Bölüm 7. SANAL ORTAMDA PROTOTİP HİBRİT ARAÇ BENZETİMİ.....	145
7.1 Giriş	145
7.2 Araç Modeli.....	145
7.2.1 İçten Yanmalı Motor ve CVT.....	148
7.2.2 Elektrik Motor	150
7.2.3 Batarya Modeli	152

7.3 Tambur Modeli	152
7.4 Benzetim Sonuçları	155
7.5 Sonuç	162
Bölüm 8. DİNAMOMETRE TESTLERİYLE HİBRİT ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMALARININ PERFORMANS TESPİTİ.....	163
8.1 Giriş	163
8.2 Basitleştirilmiş Hacettepe Kampüs-Sürüş Çevirimi	164
8.3 Hibrit Enerji Yönetim Algoritmalarının Gerçek Zamanlı Donanıma Gömülmesi	165
8.4 Deney Sonuçları	168
8.5 Sonuç	174
BÖLÜM 9. TARTIŞMA VE SONUÇ	175
9.1 Bulguların Tartışılması ve Sonuç	175
9.2 Projenin Kapsamadığı Çalışmalar ve Gelecek Çalışmalar için Öneriler.....	176
KAYNAKLAR.....	179

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Hibrit elektrikli otobüs yapılandırması a) Paralel hibrit b) Seri hibrit	4
Şekil 2. MAN/Voith şehir içi otobüs konsepti ve sürüş tahriki	4
Şekil 3. Batarya elektrikli otobüs yapılandırması.....	6
Şekil 4. Tahmin edilen otobüs pazar payı dağılımı (Frost ve Sullivan, 2013)	6
Şekil 5. 2020 yılında Kuzey Amerika'da elektrikli otobüs pazar eğilimi (Hurst, 2011).....	7
Şekil 6. Tahmini araç elde etme maliyeti	8
Şekil 7. Elektrikli araç uygulamaları için pil teknolojileri.....	12
Şekil 8. Yeni Avrupa sürüş çevrimi(NEDC).....	14
Şekil 9. ECE 15 test çevrimi	15
Şekil 10. EUDC test çevrimi.....	15
Şekil 11. Konya ili sürüş çevrimi oluşturma arayüzü	20
Şekil 12. Popüler mikro-yolculuklar a) En popüler hız profili b) En popüler ikinci hız profili	23
Şekil 13. Konya sürüş çevrimi.....	23
Şekil 14. Gözlemlerde hesaplanan özelliklerin değişimi.....	26
Şekil 15. Sürüş çevrimi verileri için ilk iki ana bileşen.....	28
Şekil 16. Tur özelliklerin PCA faktörleri.....	29
Şekil 17. PC ile açıklanan PVE değerleri	30
Şekil 18. Farklı kümelerde Silhouette değeri.....	32
Şekil 19. Küme No.1 hız profilleri.....	33
Şekil 20. Küme No.2 hız profilleri.....	34
Şekil 21. Küme No.3 hız profilleri.....	35
Şekil 22. Küme No.4 hız profilleri.....	35
Şekil 23. Sürüş çevrimi verilerin kümeleneş görünümü	37
Şekil 24. Gözlemlerin PC1 ve PC2 yönlerine göre dağılımı	37
Şekil 25. Gözlemlerin PC1 ve PC3 yönlerine göre dağılımı	38
Şekil 26. Eğitilen modelin özellikleri	38
Şekil 27. MAN otobüsünde toplanan hız verileri.....	39
Şekil 28. Bölünmüş bölgelerdeki hız verileri.....	39
Şekil 29. Bölgelerdeki sürüş çevrimi özellikleri.....	40
Şekil 30. Standartlaştırılmış kümeler	41
Şekil 31. Araç mimarisi a) Enerji akışı blok diyagramı b)Araç yapısı.....	44

Şekil 32. Benzetimde kullanılan blok diyagram a) Tersine hibrit kontrol uygulaması b) Araç dinamiği/ İYM akış şeması.....	44
Şekil 33. Elektrik güç grubuna ait akış şeması.....	45
Şekil 34. Yol dirençlerinin benzetim ortamında hesaplanması	45
Şekil 35. İçten yanmalı motor modeli blok diyagramı	47
Şekil 36. İçten yanmalı motorun farklı kelebek açılarındaki tork-devir haritası	48
Şekil 37. Temin edilen test aracı.....	49
Şekil 38. Otobüs modeline ait performans ve yakıt eğrisi. Not: Yakıt eğrisi, sadece kelebek tam açık pozisyonu için geçerli olan katalog verisidir.....	49
Şekil 39. Veri toplama ünitesi a) Dewesoft Sirius veri toplama ünitesi b) Veri toplama yazılımı .	50
Şekil 40. Veri toplama ünitesi a) GPS b) Ataletsel ölçüm ünitesi.....	50
Şekil 41. Test ekibi: Hacettepe Üniversitesi ve MAN TÜRKİYE AŞ.....	51
Şekil 42. 220 nolu otobüs güzergahına ait toplanan tork, güç ve yakıt değerleri	51
Şekil 43. Sabit motor devrine karşılık gelen spesifik yakıt tüketim değerleri.....	52
Şekil 44. Yakıt tüketim (Verim) haritası.....	53
Şekil 45. İçten yanmalı motorun yakıt tüketim blok diyagramı.....	53
Şekil 46. Elektrik motor modeli blok diyagramı	54
Şekil 47. Motor şaft hızı ve torkuna bağlı olarak verim haritası	55
Şekil 48. Eşdeğer devre diyagramı	55
Şekil 49. Batarya modeli blok diyagramı.....	57
Şekil 50. Maksimum batarya doluluk kontrol stratejisinde güç talebine göre çeşitli işletim modları	59
Şekil 51. Sınırlandırılmış termostat kontrol stratejisi gösterimi: İYM'nin çalışma bölgeleri	62
Şekil 52. Adaptif EEMY için kontrol şeması	67
Şekil 53. Standartlaştırılmış kümeler	68
Şekil 54. Hibrit güç aktarma mimarisi.....	70
Şekil 55. Batarya ve elektrik motoru kapasitelerine göre EEMY algoritması ile elde edilen yakıt tasarruf haritaları.....	72
Şekil 56. 220 numaralı hatta ait rota bilgisi	73
Şekil 57. Saat 13:00-16:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi ...	73
Şekil 58. Saat 16:00-19:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi ...	73
Şekil 59. Saat 19:00-21:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi ...	74

Şekil 60. Saat 10:00-13:00 arası 220 numaralı hat üzerindeki MAN TÜRKİYE A.Ş. otobüsü sefer verileri	74
Şekil 61. 10:00-13:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlandırılmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	76
Şekil 62. 13:00-16:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlandırılmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	77
Şekil 63. 16:00-19:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlandırılmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	78
Şekil 64. 19:00-21:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlandırılmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	79
Şekil 65. 10:00-13:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	81
Şekil 66.13:00-16:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	82
Şekil 67. 16:00-19:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	83
Şekil 68. 19:00-21:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri	84
Şekil 69. Hibrit araçta DP yöntemiyle elde edilen batarya doluluk değişimi.....	85
Şekil 70. 10:00-13:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları	86
Şekil 71. 13:00-16:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) Batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları	86
Şekil 72. 16:00-19:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) Batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları	87
Şekil 73.19:00-21:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) Batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları	87
Şekil 74. Şasi ön kısım eski ve yeni görünüm	91
Şekil 75. Şasi yandan görünüm	91

Şekil 76. Şasi arkadan görünüm.....	92
Şekil 77. Şasi üstüne etki eden kuvvetlerin gösterimi	93
Şekil 78. Kafes-şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises gerilim dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam deformasyon dağılımları, d) Güvenlik faktörü dağılımları.....	94
Şekil 79. Şasi üstüne etki eden kuvvetler	95
Şekil 80. Ön süspansiyon-Şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises Gerilim Dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam Deformasyon Dağılımları, d) Güvenlik Faktörü dağılımları.....	96
Şekil 81. Şasi arka bölge üstüne etki eden kuvvetler	97
Şekil 82. Arka süspansiyon darbe yükü-şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises gerilim dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam deformasyon dağılımları, d) Güvenlik faktörü dağılımları.....	98
Şekil 83. Araç izometrik görünümü	99
Şekil 84. Araç önden görünüm	99
Şekil 85. Araç yandan görünüm.....	100
Şekil 86. Araç arka kısım ve bağlantı parçası	100
Şekil 87. Üretilen motor şasi bağlantı parçası ve teknik resmi	101
Şekil 88. Teknik resimlere göre orbital boru kesme makinasında kesme işlemi	102
Şekil 89. Torna ve freze tezgâhında kurt ağızlarının açılması.....	102
Şekil 90. İşlenen kurtağızlı profil örnekleri.....	103
Şekil 91. Süspansiyon sisteminin yaylanma açısına göre kinematik hareketi.....	104
Şekil 92. Yatma durumunda kamber açısı değişimi	104
Şekil 93. Yatma durumunda toe açısı değişimi	105
Şekil 94. Yatma durumunda devrilme noktası yüksekliğinin değişimi.....	105
Şekil 95. Süspansiyon sisteminin montajı.....	106
Şekil 96. Geometrik olarak doğru dönüş (Ackerman kuralı)	107
Şekil 97. Direksiyon sisteminin montajı.....	109
Şekil 98. Kullanılan fren tertibatı a) Fren pedalı b) Fren merkezi (Master Silindir) c) Arka fren hidrolik hattı.....	110
Şekil 99. Nihai prototip araç ve çalışma ekibi.....	110
Şekil 100. Batarya paketi genel görünümü. 1-Pil hücreleri, 2-BMS, 3-Akım sensörü, 4-Kontaktör, 5-Sigorta, 6-DC-DC konvertör	111
Şekil 101. Gaz kelebek gövdesi 1) Gaz kelebek kontrol aparatı, 2) Tel sabitleme aparatı	112

Şekil 102. Kullanılan elektronik donanımlar a) Elektronik gaz pedalı b) Arduino c) Servo motor.....	113
Şekil 103. Gaz Kelebeğine servo motor entegrasyonu	113
Şekil 104. Elektronik gaz pedalı devre şeması	114
Şekil 105. Şasi dinamometresinin üstten görünüşü. (Kırmızı: Şaft ile birbirine bağlı silindirler)	115
Şekil 106. Kullanılan enkoder görseli ve özellikleri (SICK DBS50E-S5EK00100).....	115
Şekil 107. MicroAutoBox II mikro denetleyici	117
Şekil 108. MicroAutoBox II konektör şeması.....	118
Şekil 109. Gaz kelebeği ayarı için MicroAutoBox II donanımı ile kurulan sistemin devre şeması.....	119
Şekil 110. VS sensörünün motor üzerinde konumlandırılması	120
Şekil 111. Gösterge panelindeki VS sensörü ve takometre paralel hat bağlantı şeması	120
Şekil 112. Motor hızı, araç hızı ve gaz kelebeği açısı komutu sinyallerinin elde edilmesi.....	121
Şekil 113. Proje kapsamında kullanılan QS elektrik motorları	122
Şekil 114. Elektrik motoruna ait sensör ve donanımların MicroAutoBox II ile olan devre şeması	123
Şekil 115. Rejeneratif fren aktivasyonu, fren ve gaz komuta voltajı Simulink blok diyagramı ...	124
Şekil 116. Motor ve araç hızı Simulink blok diyagramı	125
Şekil 117. Akım, voltaj, sıcaklık bilgilerinin ayrıştırılmasını sağlayan Simulink blok diyagramı .	126
Şekil 118. Akım verilerini toplayıp ardından gerçek akım değerine dönüştüren Simulink blok diyagramı.....	126
Şekil 119. Batarya doluluk oranı tahmini Simulink blok diyagramı	127
Şekil 120. Batarya sistemi şematik çizimi	127
Şekil 121. Donanımlara ait genel devre şeması.....	128
Şekil 122. Deney ortamının tepeden görünüşü. 1) MicroAutoBox II, 2) Elektrik motor kontrolcileri, 3) Batarya paketi, 4) Elektrik motorları, 5) İçten yanmalı motor, 6) Fanlar.....	129
Şekil 123. Deney ortamının yandan görünüşü 1) MicroAutoBox II, 2) Elektrik motor kontrolcileri, 3) Batarya paketi, 4) Elektrik mtorları, 5) İçten yanmalı motor.....	129
Şekil 124. Varyatör- değişken oran sağlayan kısım 1) Ön hareketli kasnak, 2) Arka hareketli kasnak, 3) Kavrama, 4) Tahrik kayışı	130
Şekil 125. Varyatör- sabit oran sağlayan kısım	130
Şekil 126. Şanzımda kullanılan kasnak ölçüleri	131
Şekil 127. Şasi dinamometresi veri toplama düzeneği.....	132

Şekil 128. Farklı gaz kelebeği açılarında motor hızına göre cvt oranları	132
Şekil 129. Farklı gaz kelebeği açılarında araç hızına göre CVT oranları	133
Şekil 130. Farklı gaz pedallarında araç hızına karşılık motor devrinin değişimi.....	134
Şekil 131. Farklı gaz pedalı açılarında oluşan dinamometre silindir hızlanma eğrileri	135
Şekil 132. İçten yanmalı motor tork haritası (Deneysel).....	135
Şekil 133. İçten yanmalı motor tork haritası (Teorik).....	136
Şekil 134. Tersine tork haritası gaz pedalı çıktısı.....	137
Şekil 135. Yakıt tüketim haritası (Deneysel)	139
Şekil 136. Yakıt tüketim haritası (Düzenlenmiş).....	139
Şekil 137. Farklı komuta voltajlarında oluşan motor hızlanma eğrileri.....	141
Şekil 138. Elektrik motor tork haritası	141
Şekil 139. Tersine tork haritası komuta voltaj çıktısı	142
Şekil 140. Elektromekanik tozlu fren dinamometre sistemi	143
Şekil 141. Elektrik motor verim haritası (3 boyutlu gösterim)	143
Şekil 142. Elektrik motor verim haritası (İzohips gösterim).....	144
Şekil 143. Prototip araç mimarisi	145
Şekil 144. Benzetimlerin yapıldığı sürüş çevrimi hız ve ivme profilleri.....	147
Şekil 145. Dinamometre üzerinde araca uygulanan yol direnç kuvvetleri ve güç isteği	147
Şekil 146. İçten yanmalı motor tork haritası	148
Şekil 147. İçten yanmalı motor ve CVT modeline ait Simulink blok diyagramı	149
Şekil 148. Elektrik motor tork haritası	150
Şekil 149. Elektrik motor modeline ait Simulink blok diyagramı.....	151
Şekil 150. Tambur modeli Simulink blok diyagramı.....	153
Şekil 151. Sanal dinamometrede hibrit algoritma benzetim genel akış şeması	154
Şekil 152. Sanal dinamometre üzerinde Sınırlandırılmış Termostat kontrol stratejisi sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi.....	156
Şekil 153. Sanal dinamometre üzerinde Maksimum Batarya Doluluk Oranı kontrol stratejisi sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi.....	157
Şekil 154. Sanal dinamometre üzerinde EEMY sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi	158

Şekil 155. Sanal dinamometre üzerinde Sınırlandırılmış Termostat kontrol stratejisi sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi.....	159
Şekil 156. Sanal dinamometre üzerinde Maksimum Batarya Doluluk kontrol stratejisi sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi.....	160
Şekil 157. Sanal dinamometre üzerinde EEMY sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi	161
Şekil 158. Jant içi elektrik motorların ATV taşıtının ön aksına entegrasyonu	163
Şekil 159. Dinamometre üzerinde taşıtların yerleştirilmesi.....	164
Şekil 160. Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsü veri toplama rotası.....	164
Şekil 161. Deneylerde kullanılan sürüş çevrimleri a) Hacettepe kampüsü sürüş çevrimi b) Basitleştirilmiş sürüş çevrimi.....	166
Şekil 162. Hibrit enerji yönetim algoritmaları için kurulan Simulink modeli diyagramı.....	167
Şekil 163. Girdi ve çıktı sinyallerin gözlemlene görüntüsü -ControlDesk arayüz programı	169
Şekil 164. Sınırlandırılmış Termostat algoritmasına ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor hızı	170
Şekil 165. Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritmasına ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor hızı	171
Şekil 166. EEMY'ye ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM Hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor Hızı	172
Şekil 167. Algoritmalara göre deneysel batarya doluluk oranı değişim grafikleri ve yakıt tüketim/tasarruf değerleri.....	173

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Elektrikli otobüslerin imalat, bakım, işletme ve altyapı maliyetleri.....	9
Tablo 2. Hibrit otobüs çözümlerinde enerji depolama aygıtlar özellikleri	13
Tablo 3. Konya sürüş çevrimi için toplanan verilerin gösterimi	19
Tablo 4. Benzerlik ölçüt parametreleri	20
Tablo 5. Popüler mikro-yolcukların parametre özelliklerine göre dağılımı	22
Tablo 6. Örnek sürüş verisi.....	25
Tablo 7. Turlarda hesaplanan özellikler	26
Tablo 8. Ana bileşenler için faktör vektörleri	28
Tablo 9. Eğitilen modelin girdi ve çıktıları	40
Tablo 10. Standart kümelerin temel bileşenler analizi.....	41
Tablo 11. Veri toplama formatı	50
Tablo 12. Farklı komut çekiş torku ve batarya doluluğuna göre motor tork kontrol stratejisi şeması.....	63
Tablo 13. Kümelenendirilmiş sürüş alt çevrimlerine ait eşdeğerlik faktör değerleri.....	68
Tablo 14. Hibrit otobüs özellikleri.....	70
Tablo 15. Seferlere göre eşdeğerlik faktör değerleri	80
Tablo 16. 10:00-13:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları	88
Tablo 17. 13:00-16:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları	88
Tablo 18. 16:00-19:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları	88
Tablo 19.19:00-21:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları	88
Tablo 20. Kafes statik mukavemet analiz sonuçları	93
Tablo 21. Ön süspansiyon mukavemet analiz sonuçları	95
Tablo 22. Arka süspansiyon mukavemet sonuçları.....	97
Tablo 23. Dönüş yarıçapı = 5500 mm için tekerlek kilitleme açıları ve ara hesaplama değerlerini gösteren çizelge	107
Tablo 24. Tasarlanan pinyon kremayer direksiyon sistemi için dış tekerlek açısı değerleri ve Ackerman hataları	108
Tablo 25. Tek bir batarya hücrelerine ait özellikler	111
Tablo 26. Kullanılan ekipmanlar ve sinyaller.....	117
Tablo 27. İçten yanmalı motora ait sensör pin bilgisi	122
Tablo 28. Elektrik motora ait sensör pin bilgisi	125
Tablo 29. ASCII - Decimal çeviri tablosu	126

Tablo 30. Batarya yönetim sistemi sensör pin bilgisi.....	128
Tablo 31. Sabit motor devrinde yakıt testi.....	137
Tablo 32. Farklı motor devirlerinde oluşan yakıt tüketim oranı	138
Tablo 33. Prototip araç özellikleri.....	146
Tablo 34. Büyük batarya paketiyle hibrit algoritma çıktıları, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları	162
Tablo 35. Küçük batarya paketiyle hibrit algoritma çıktıları, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları	162
Tablo 36. Veri toplama cihazına ait örnek kayıt biçimi	165
Tablo 37. Farklı hibrit algoritmalara ait, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları (Şekil 164, Şekil 165 ve Şekil 166'ye ait sonuçların derlemesi).....	174
Tablo 38. Tekrarlanan deneylere göre farklı hibrit algoritmalara ait, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları (Şekil 167'e ait sonuçların derlemesi)	174

ÖZET

Bir yandan toplu taşımada kullanılan şehir içi otobüsler ve servisler, öte yandan her gün yüz kilometrenin üzerinde yol kateden çöp kamyonları ve kurye araçları çok miktarda yakıt tüketmektedir. Bu proje kapsamında, Ankara içinde yolcu taşımacılığında görev yapan belediye otobüsleri üzerinden yoğun veri toplama ve simülasyon faaliyetlerini içeren analizlerin sonuçlarına dayanarak, belediyelerin ve Ulaştırma Bakanlığı'nın gelecekte içten yanmalı motora sahip taşıtlar yerine elektrikli ve/veya hibrit taşıtların kullanılması halinde, sağlanabilecek yakıt tasarrufunun analizine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Başka bir deyişle, mevcut taşıtların ya elektrikli araca ya da hibrit araca dönüşümü yapılarak ve bunların enerji yönetim algoritmalarını (proje esnasında elde edilme yöntemi çözümlenen sürüş çevrimlerine göre) optimize etmek suretiyle, teorik olarak, ne kadar yakıt tasarrufu yapılabileceği hesaplanmıştır.

Proje esnasında, sürüş çevrimleri bir araç takip sistemi üreticisi ile ortak çalışma yürütülerek elde edilmiştir. Ayrıca bir otobüs üreticisiyle de proje ekibi veri toplayarak araç takip üreticisi tarafından sağlanan verilerin validasyonu yapmıştır. Proje esnasında, özgün bir yöntemle, araç takip sistemi verileri kullanılarak ülkemizin farklı şehirleri için geçerli sürüş çevrimlerinin (driving cycle) belirlenmesinde kullanılacak yöntemler geliştirilmiş ve sonrasında bu yöntemler hibritleştirme analizinde kullanılmıştır.

Üstteki amaçlar doğrultusunda, bahsi geçen taşıtların güç dizini ve taşıt dinamiği modelleri sanal ortamda kurulmuş. Elektrik-hibrit taşıtların enerji yönetim sistemlerinin algoritmaları literatürden araştırılmış ve özellikle Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY) ve Dinamik Programı tabanlı yöntemler gibi gelişmiş yöntemlerin, daha basit olan kural tabanlı yöntemlere göre ne miktarda fayda sağlayacağı konusunda analizler yürütülmüştür. Özellikle EEMY'nin gerçek zamanlı sürüş çevrimine göre güncellenmesi tabanlı özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak % 50'ye varan yakıt tüketimi tasarrufu yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Yöntem kapsamında, araç takip sistemlerinin kullanımı ile enerji yönetim sistemi parametrelerinin trafik yoğunluk bilgisine göre uyarlanması sağlanmıştır. Başka bir deyişle, sanal ortamda, trafiğe yeni katılan bir aracın, teorik olarak bulunduğu yol segmenti için hız zaman grafiğinin ne şekilde olacağı, yakın geçmişte bu yol segmentinde seyahat etmiş araçların araç takip sistemi verileri kullanılarak enerji sarfiyatı en aza indirilmiştir. Dolayısıyla, sürüş çevrimleri kullanılarak elde edilmiş algoritmaların kalibrasyonunu araç rotası için yapılmıştır.

Projenin son aşamasında üç tekerlekli, ön tekerlekleri elektrikli jant motorlu, arka tekerleği içten yanmalı motor tahrikli, paralel hibrit mimariye sahip bir taşıt üretilmiştir. Bu taşıtın taşıt kontrol

bilgisayarına projenin teorik aşamaları esnasında tasarlanan hibrit enerji yönetim algoritmaları kodlanmıştır. Hacettepe kampüsünde hız-zaman verileri toplanmıştır. Elde edilen verilerden basitleştirilmiş bir sürüş çevrimi türetilmiştir. Kontrollü deneylerin yapılabilmesi adına Hacettepe Üniversitesi Otomotiv Laboratuvarında bulunan dinamometre deney düzeneği üzerinde özgün bir test prosedürü geliştirilmiştir. Test esnasında içten yanmalı motorun ve elektrikli jant motorlarının (sökülüp paralel bir araca monte edilerek) dinamometre tamburlarının eş zamanlı olarak tahrik etmesi mümkün kılınmıştır. Deneysel sonuçlar, projenin teorik aşamalarında da gösterildiği gibi, hibrit taşıtların kullanılması halinde, EEMY'nin, diğer yöntemlere göre, çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlayabildiğini göstermektedir. Hem teorik hem de pratik sonuçlar sürüş çevrimi hakkında bilgi sahibi olduğunda (ki bu şehir için yolcu taşımacılığında kullanılan taşıtlar için son derece geçerlidir), üstte bahsi geçen hibrit enerji yönetim algoritmasının yakıt tüketimini azaltmada büyük potansiyeli olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Taşıt, Hibrit Taşıt, Enerji Yönetim Sistemi, Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi

ABSTRACT

Both city buses and personnel services that are used in public transportation on the one hand and garbage trucks and courier vehicles on the other travel more than a hundred kilometers per day and consume substantial amounts of fuel. Within the scope of this project, based on results based on intensive data collection and simulation activities related to municipal buses serving the city of Ankara, a research study about the analysis of potential fuel savings, that could be provided if municipalities and the Ministry of Transport used electric and/or hybrid vehicles instead of vehicles with internal combustion engines, has been carried out. In other words, the amount of fuel savings has theoretically been calculated by transforming the existing vehicles to either electric or hybrid vehicles and by optimizing their energy management algorithms (according to the driving cycles obtained during the project).

During the project, driving cycles were obtained by collaborating with a vehicle tracking system manufacturer. In addition, together with a bus manufacturer, the project team collected experimental data and validated the data provided by the vehicle tracking system manufacturer. Original methods were developed to determine driving cycles for the different cities of our country and were used in the subsequent hybridization analyses.

For the above mentioned purposes, powertrain and vehicle dynamics models of aforementioned vehicles were established in the virtual environment. The algorithms of the energy management systems of the electric/hybrid vehicles have been investigated from the literature and analyses have been carried out to determine the benefits of advanced methods such as the Equivalent Consumption Minimization Strategy (ECMS) and Dynamic Programming based methods compared to simpler rule based methods. In particular, an original method based on adaptive-ECMS, which consists in scheduling control parameters according to the real-time driving cycle has been developed. By using this method, it was found that fuel consumption savings up to 50% fuel consumption were possible. Within the scope of the method, the parameters of the energy management system were adapted to the traffic density information provided by the vehicle tracking system. In other words, in the virtual environment, the speed time graph for the road segment where the ego vehicle is about to travel is predicted theoretically, using the vehicle tracking system data of vehicles that travelled on the same road segment in the recent past. Thereby, the calibration of the hybrid energy system algorithms is made possible by using driving cycles calculated for the road segment under interest.

In the final stage of the project, a three-wheeled parallel hybrid vehicle with electric hub motors at the front wheels and an internal combustion engine driven rear wheel has been constructed. The hybrid energy management system algorithms designed during the theoretical stages of the project, have been coded to the vehicle control computer of this vehicle. Speed – time data have been collected in the Hacettepe University campus and a simplified driving cycle has been obtained according to the data. In order to carry out controlled experiments, a unique test procedure has been developed on the dynamometer test setup in the Hacettepe University Automotive Laboratory. During the tests, internal combustion engine and electric hub motors (which were disassembled and mounted to a separate vehicle chassis) were made to drive dynamometer drums simultaneously. Experimental results show that ECMS can provide much more fuel savings than other methods as also shown in the theoretical stages of the project. Both the theoretical and practical results prove that the hybrid energy management algorithm mentioned above has a great potential in reducing fuel consumption, when the driving cycle is more or less known, which is quite valid for vehicles used in urban passenger transportation that generally have fixed routes.

Keywords: Electric Vehicle, Hybrid Vehicle, Energy Management System, Equivalent Energy Minimization Strategy

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Petrole olan bağımlılığın devam etmesi ve batarya teknolojilerinin hala istenilen verim ve dayanıklılık seviyelerine ulaşamamış olması sebebiyle, hibrit taşıt teknolojileri yakın gelecekte çok önem kazanacak bir konudur. Bu alanda yapılacak ulusal Ar-Ge faaliyetlerinin, ülkemizin bu alanda dünyada söz sahibi olabilmesi açısından, öneminin büyük olduğu düşünülmektedir. Bu proje ile özgün bir yaklaşımla, gerçekçi sürüş çevrimleri elde edilmiş ve hibrit enerji yöntemleri geliştirilmiştir.

Bölüm 2’de elektrikli/hibrit otobüs teknolojisiyle ilgili bir literatür özeti verilmiştir. Bölüm 3 ile güzergâhları belirlenmiş taşıtlardan bir ay boyunca veri toplanarak, Ana Bileşenler Analizi ve mikro yolculuk yöntemi ile sürüş çevrimlerinin elde edilmesi anlatılmaktadır. Bahsi geçen yöntemlerle Konya şehrine ve Ankara 220 nolu hat güzergâhına ait sürüş çevrimleri oluşturulmuştur. Bölüm 4 ile ayırık akstan hibrit araç için matematiksel modellemenin yapılması ve benzetim ortamının oluşturulması anlatılmaktadır. Bu doğrultuda, boylamasına taşıt dinamiği, güç grupları (Elektrik motor, içten yanmalı motor, batarya vb.) modellemesi ve sürüş çevrimlerinin benzetim ortamında kodlanması yapılmıştır. Bölüm 5 ile hibrit enerji yönetim algoritma yaklaşımları ve 220 nolu hat üzerinde hibridizasyon benzetimleri anlatılmaktadır. Kural tabanlı ve optimizasyon tabanlı enerji yönetim algoritmaları tasarlanmış ve performansları otobüs modeli üzerinde sınanmıştır. Bölüm 6 ile gerçek zamanlı deney ortamı için tasarlanmış üç tekerlekli hibrit taşıt platformunun üretilmesi ve bu araca ait donanımlar için kurulan veri toplama sistemi anlatılmaktadır. Bununla beraber aracın güç elektroniği grubuna ait karakterizasyon ve sinyalizasyon çalışmaları tanıtılmıştır. Karakterizasyon çalışması sonucu güç elektroniğine ait performans haritalarının benzetim ortamında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bölüm 7 ile üretilen araca ait parametre ve modeller kullanılarak sanal dinamometre üzerinde hibrit enerji yönetim algoritmaları sınanmıştır. Bu bölümde, hibrit taşıt platformuna ek olarak dinamometreye ait tambur modeli oluşturulmuştur. Hibrit enerji yönetim algoritmaları Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsüne ait basit sürüş çevrimine göre koşturulmuştur. Hacettepe sürüş çevrimi için kampüs içerisinde veri toplanmış ve işlenerek basit bir hız-zaman profili türetilmiştir. Bölüm 8 ile gerçek zamanlı deney ortamının kurgulanması ve sonrasında üretilen hibrit taşıt platformu üzerinde Bölüm 5’te anlatılan hibrit enerji yöntem algoritmalarının performansları deneysel olarak sınanmıştır. Bölüm 9’da projeye ait bulgular listelenmiş, genel sonuç verilmiş ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Giriş

Günümüzde, kara taşıtlarının zararlı emisyonlarını azaltmak için yapılan bilimsel çalışmalar ve siyasi teşebbüsler petrol fiyatlarındaki istikrarsızlığından etkilenmeyecek, petrole bağımlı toplu taşıma sektörün yerini alacak alternatif teknolojilerin uygulamasına yönelik yenilikçi teknolojilerin tasarlanmasını kapsamaktadır (Grubb vd., 1997). Geleneksel içten yanmalı motor tarafından üretilen emisyonları azaltmak amacıyla, ülkeler tarafından belirlenen standartların uygulanmasının (ör: Euro Standartları) belli bir etkisi olsa da bu girişimler, Kyoto protokolünde öngörülen emisyon hedeflerini karşılamak için henüz yeterli değildir (Miles ve Potter, 2014). Karayolu taşımacılığı sektöründe emisyon ayak izini azaltmak için alternatif teknolojilerin gerekli olduğu bilimsel literatürde açıktır. Farklı teknolojik çözümler son yıllarda kullanılmakla beraber, petrol bazlı taşımacılık halen bu sektörde önemli paya sahiptir ve alternatif teknolojilerin pazar payı halen çok azdır (Mahmoud vd., 2016).

Karayolu taşımacılığı için yeni alternatiflerin uygulanması çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler geleneksel dizel/benzin tüketim parametrelerine çevrilerek değerlendirilmektedir (Ribau vd., 2014). Bu faktörler, enerji lojistiği, maliyet-fayda değerlendirmesi, altyapı ve kamu kabulü gibi etmenleri içerir. Bu bağlamda, toplu taşıma, özellikle şehir içi otobüsler bağlamında, alternatif teknolojilerin pazar penetrasyonu için üstün bir potansiyel sunmaktadır (Miles ve Potter, 2014). Otobüs taşımacılığı, diğer faktörler göz ardı edilirse, sabit yolları ve merkezi depo yerleri gibi paylaşılan bir altyapı sağlamaktadır. Bu nedenle, alternatif teknolojilerin uygulanması için oldukça uygundur. Bu bağlamda, şehir içi otobüs ağı, alternatif çekiş teknolojilerinin uygulanması, test edilmesi ve sürecin bütününde emisyonların azaltılması için optimizasyon çalışmalarının yürütülmesi yönlerinden oldukça uygun bir platformdur (Poullikkas, 2015).

Günümüzde, çeşitli güç aktarım teknolojileri piyasadaki kentsel otobüslerde kullanılmaktadır. Bunların her biri, emisyonların azaltılmasında yararlanılabilir özel avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, her farklı uygulama için en uygun güç aktarım yönteminin seçilmesi maliyet, ağ yapısı, enerji kaynağı ve sürüş koşulları gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Lajunen, 2014). Her teknolojinin optimum kullanımı için, farklı özellikler arasında bir dengeleme yapmak gereklidir.

Elektrikli/hibrit otobüsün tekno-ekonomik ve çevresel etkilerini ölçen ve modelleyen çeşitli bilimsel çalışmalar vardır. Özetle, çevre modellemeleri, elektrikli/hibrit otobüs kullanımıyla sera gazı emisyonların azaltılmasını araştırmaktadır (McKenzie ve Durango-Cohen, 2012). Enerji tüketimi modellemeleri, elektrikli/hibrit otobüsün enerji verimliliğini araştırmakta (Ou vd., 2010) ve

ekonomik çalışmalar elektrikli/hibrit otobüs uygulanmasını maliyet-fayda analizine odaklanmaktadır (Nurhadi vd., 2014).

Diğer çalışmalar, elektrikli/hibrit otobüsün kullanmasındaki kısıtlamalara odaklanmaktadır. Yüksek başlangıç sermayesi, iki farklı güç üreticinin birleştirilme karmaşıklığı; bileşen parçaların kullanılabilirliği (piller, güç aktarım sistemi), güç elektroniği, pahalı piller ve pil değiştirme maliyetleri ve katma ağırlık gibi kısıtlar mevcuttur (Živanović ve Nikolić, 2012).

2.2 Elektrikli/ Hibrit Otobüs Teknolojisine Genel Bakış

Otobüslerin elektrifikasyonu, tahrik sisteminin yapılandırmasına göre, farklı derecelerde yapılmaktadır (Bayindir vd.2011). Bunlar, Hibrit Elektrikli Otobüs¹ (HEB) (seri ve paralel), Yakıt Hücreli Elektrikli² (FCEB) ve Bataryalı³ (BEB) yapılandırmalar olarak ayrılmaktadır. Hibrit elektrikli otobüs tahriği, en az iki enerji kaynağını araç üzerinde taşıyan, aracın tekerleklerine çekiş sağlarken kısmen veya tamamen bir elektrik motoru kullanan teknolojidir. Bu otobüsler, bugünün toplu taşıma kullanıcılarının ihtiyaçlarını, yakıt ekonomisi, emisyon ve güvenlik konularında karşılaşılan belirli zorluklara karşılık vermek için geliştirilmektedir (Hodkinson ve Fenton , 2001). Hibrit elektrikli otobüs teknolojisi çekiş gücünü tekerleklere iletmek için, çeşitli yapılandırmalarla, hem içten yanmalı motoru (İYM) hem elektrik motorunu (EM) kullanır. Hibrit otobüsler genelde iki ayrı formda yapılandırılmıştır. Paralel yapılandırmada, (Bkz. Şekil 1.a), motorlar (İYM ve EM) araca çekiş sağlamak için tork kuplörüyle bağlı bulunmaktadır. Çekiş gücü, İYM ve EM'nin beraber veya bağımsız bir şekilde çalışmasıyla üretilebilir. Seri yapılandırmada ise, İYM genellikle jeneratörü tahrik ederek elektrik üretmek için kullanılır. Şekil 1.b ile gösterildiği gibi üretilen elektrik EM'ye aktarılır veya batarya paketinde depolanır.

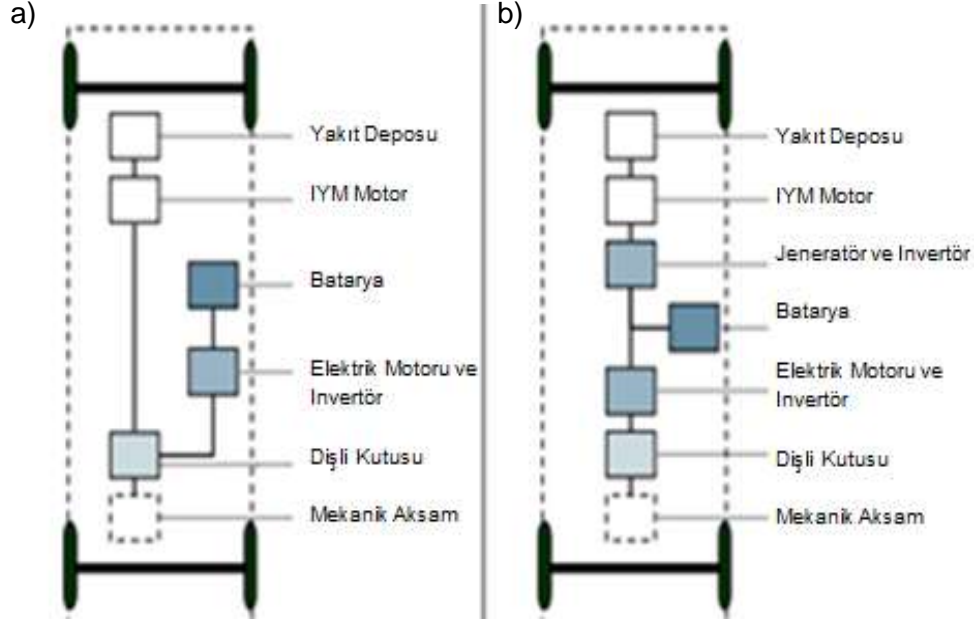
2.2.1 Seri Hibrit Yapılandırma Örnekleri

Şehir içi otobüslerin, sürüş çevrimleri boyunca sürekli dur/kalk yapması nedeniyle, hibrit teknolojinin kullanılmasının faydaları bulunmaktadır. Otobüslerde dizel motor kullanılması, seri hibritleştirme gereksinimini öne çıkarmaktadır zira bu yapılandırma şekli, İYM'nin emisyonlar ve yakıt tüketimi bağlamında optimal bir bölgede çalışmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla otobüs ve yük/kargo taşıtları, seri hibrit uygulamalar için ideal adaylardır. Bu teknoloji, madencilik araçları, lokomotif ve benzeri ağır görevli araçlar için uygundur. Bu araçlarda, seri hibrit yapılandırmasıyla, güç aktarma (vites kutusu vb.) ihtiyacı da ortadan kalkar.

¹ Hybrid Electric Bus

² Fuel Cell Electric Bus

³ Battery Electric Bus



Şekil 1. Hibrit elektrikli otobüs yapılandırması a) Paralel hibrit b) Seri hibrit

Bir seri hibrit otobüs örneği olarak, MAN ve Voith arasındaki ortak girişim sonucunda ortaya çıkan NL 202 DE düşük tabanlı şehir otobüsü, 70 km/sa maksimum hıza ve 98 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Kabin arkasında yatay konumlandırılmış dizel motor, otobüsün arka kısmında fazladan bir koltuk yerleştirilmesini sağlamıştır. 12 metre uzunluğunda olan bu otobüste 127 kW dizel motoru ve 135 kW kapasiteli jeneratör kullanılmış ve 57 kW gücündeki elektrik motorlar iki kademeli planet dişli sistemi ile tekerleklere bağlanmıştır. Aracın özellikleri Şekil 2 ile gösterilmektedir (Crolla, 2009).



	TFM wheel motor	TFM generator
Power	57 kW	135 kW
Rated speed	735 rpm	1750 rpm
Approx. max. speed	2500 rpm	200 rpm
Max. fundamental frequency of stator	1350 Hz	—
Rated torque	740 Nm	740 Nm
Approx. max. torque	1050 Nm	740 Nm
Approx. torque conversion		1:3
Power/weight ratio	1.8 kg/kW	0.9 kg/kW

Şekil 2. MAN/Voith şehir içi otobüs konsepti ve sürüş tahriki

2.2.2 Paralel Hibrit Yapılandırma Örnekleri

Paralel hibrit yapılandırmada, seri yapılandırmadan farklı olarak, ardı ardına enerji dönüşümleri gerçekleşmez. Paralel yapılandırmada jeneratör olmamasından ötürü içten yanmalı motorda

Üretilen mekanik enerjinin doğrudan elektrik enerjisine dönüşmesi mümkün değildir. Bu tasarımda jeneratör görevi kısmi olarak elektrik motorunun üzerine der ve gerekli zamanlarda elektrikli motorlar bataryayı Şarj eder. Jeneratörün olmaması ve daha ufak boyutlu İYM ve EM kullanımı, aracın ağırlığını düşürme açısından en temel avantajlardır. Buna ilaveten, paralel hibrit sistemde içten yanmalı motordan alınan tahrik gücü direkt tahrik aksına iletildiğinden enerji kaybı ve yakıt tüketimi de azalmaktadır (Karaoğlan ve Kuralay, 2014).

Volvo 7700 hibrit otobüsleri paralel hibrit tahrik sistemin bir örneğidir. Bu otobüsler, 1999 ve 2012 yılları arasında Volvo tarafından Finlandiya'da geliştirilmiş, alçak tabanlı, tek katlı, Şehiriçi/Şehirlerarası taŐımacılıđa uygun tiptedir. Genel olarak 12 metre ve 18 metre uzunluğunda, dizel veya doğal gaz motoruyla piyasaya sunulmuştur (Volvo 7700, 2016). 12 metrelik tipi 18.9 ton ağırlıkla, arka akstan tahrikli, güç aktarım sisteminde 210 hp/800 Nm dizel motor ve 160 hp/800 Nm elektrik motora sahiptir (Jobson, 2010).

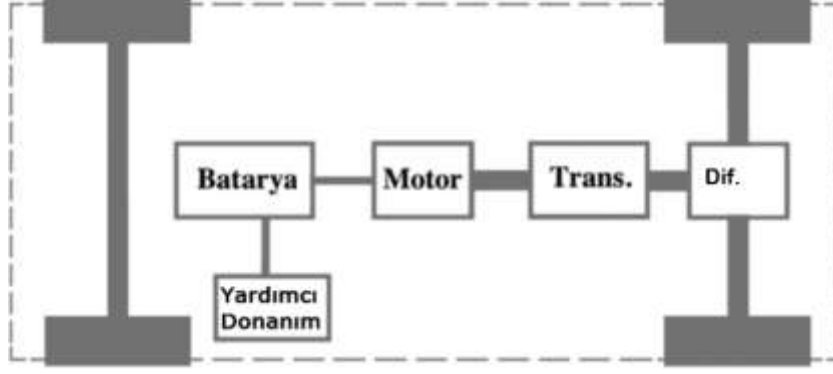
Paralel hibrit otobüs teknolojisinde başka bir rnek, Daimler-Benz OE 305 Şehir içi otobüs dönüŐümleridir. Yaklaşık 20 araç 1980'lerin baŐlarında Almanya'nın çeşitli Őehirlerinde hibritleştirme çalışmalarında deđerlendirilmiŐtir. Otobüsler Şehir dışında dizel tahrik modunda ve Şehir merkezinde elektrikli çalışma modunda kullanılmıştır. Menzili, yalnız batarya ile 30-45 mil ve dizel hibrit modunda 190 mildir. 100 yolcu taŐıyabilen araçların maksimum hızı 43 mil/sa ve ağırlığı 19 tondur. Dizel motoru 100 bhp güce elektrik motoru 200 bhp güce sahiptir. 360 voltta işletilen beş adet 275 Ah bataryanın ağırlığı 3.5 tondur (Mi vd., 2011).

2.2.3 Batarya Elektrikli Otobüs (BEB) Teknolojisi

Batarya elektrikli otobüsün çekiş gücü, bir batarya paketinde depolanan elektrik enerjisi tarafından sağlanmaktadır. (Bkz. Şekil 3). Bu teknolojinin güç aktarma yapılandırması az miktarda mekanik parça içerir (Offer vd., 2010). Batarya elektrikli otobüs iki Şekilde iŐlevselleŐtirilir: Kısa Şarj sreli⁴ ve uzun Şarj sreli⁵. Kısa Şarj süreli elektrikli otobüs küçük bir pil paketine sahiptir, sınırlı bir menzil (20-30 mil) sunar ve tam Şarj (80-100%) süresi 5 – 10 dakika sürer. Bu araçlarda genellikle 40-60 kwh' lık Li-ion teknolojisine sahip küçük bataryalar kullanılmıştır. Buna karşılık, uzun Şarj süreli elektrikli otobüs nispeten daha büyük bir batarya paketi içerir, 200 mile kadar menzile sahiptir ve daha uzun Şarj süresine (2-4 saat) ihtiyaç duyar (FCH-JU, 2012).

⁴ Opportunity

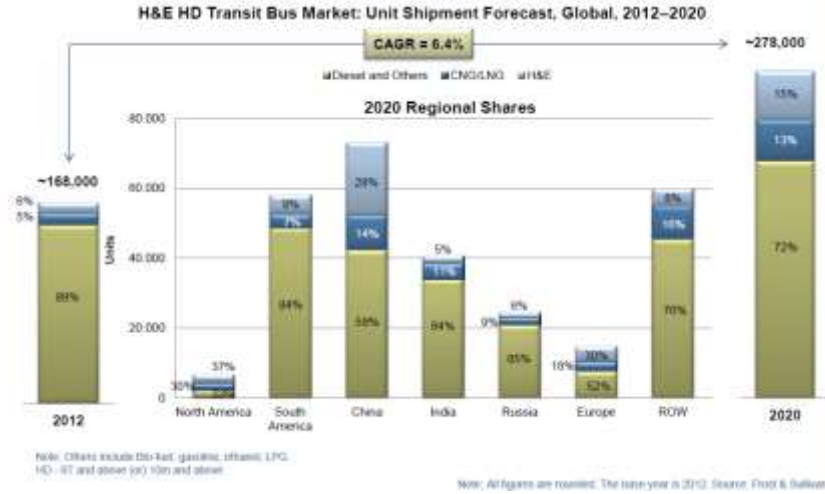
⁵ Overnight



Şekil 3. Batarya elektrikli otobüs yapılandırması

2.3 Elektrik/Hibrit Otobüsler İçin Piyasa Eğilimi

Elektrikli/hibrit otobüs pazar payında son yıllarda istikrarlı bir büyüme vardır. 2012 yılında, elektrikli otobüsler dünya çapında yeni alımların % 6 payını oluşturmuştur. Bu pay, Asya Pasifik, Avrupa ve Amerika (güney ve kuzey) gibi dünyadaki kilit oyuncular arasında dağılmıştır. Elektrik/hibrit otobüsler için potansiyel pazar payını tahmin etmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır; en önemlisi Frost ve Sullivan'ın çalışmalarında bulunmaktadır (Frost ve Sullivan, 2013). Araştırmacıların tahminlerine göre, Şekil 4 ile gösterildiği gibi, elektrikli otobüsler 2020 yılında % 26,4 Bileşik Yıllık Büyüme Oranı⁶ (CAGR) ile küresel pazarın % 15 payını oluşturacaktır.

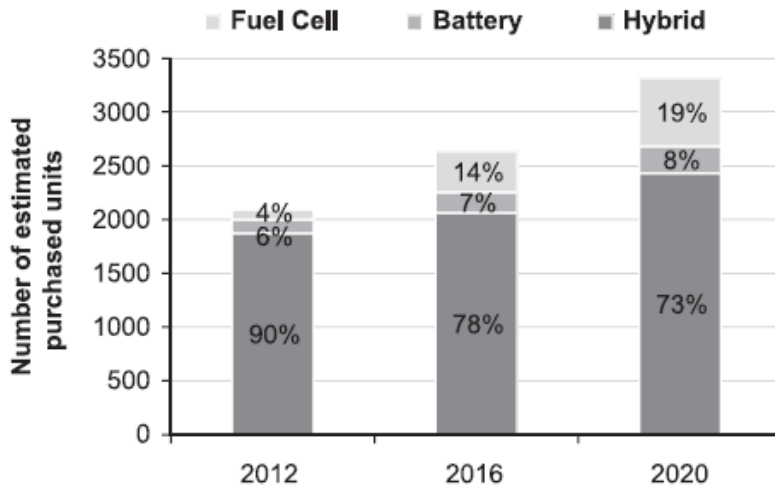


Şekil 4. Tahmin edilen otobüs pazar payı dağılımı (Frost ve Sullivan, 2013)

⁶ Compound Annual Growth Rate

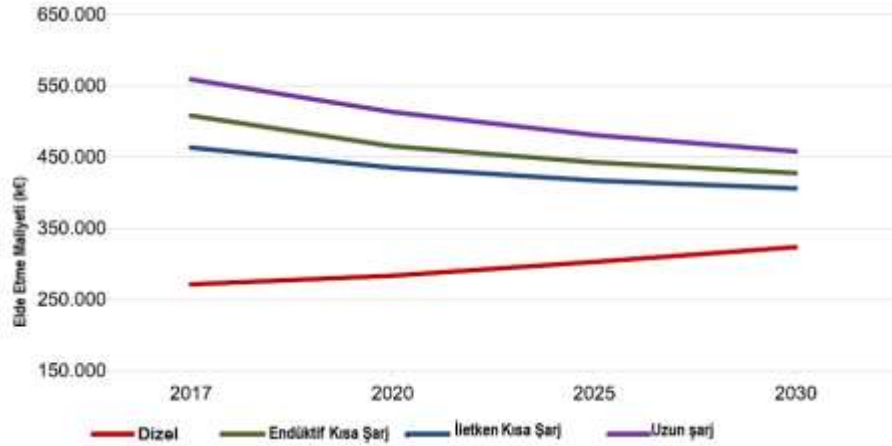
Ayrıca, elektrikli/hibrit otobüs pazar payı, 2020 yılında Asya Pasifik bölgelerinde Çin ve Hindistan pazarlarının %28 ve %5' ini kapsayacaktır. Bu değer Avrupa'da %30, Kuzey Amerika'da %37 ve Latin Amerika'da %9 değerleriyle karşılaştırılabilir (Frost ve Sullivan, 2013)

Buna ek olarak, 2020 tahminleri elektrikli/hibrit otobüsün Kuzey Amerika pazarına hâkim olacağını göstermektedir. Bu pazar penetrasyonu esnasında ağırlıklı olarak hibrit teknolojisi gerçekleşecektir. Pike'in çalışmasındaki tahminlere dayanarak, pazar eğilimi (Bkz. Şekil 5) elektrikli/hibrit otobüs segmenti içinde, hibrit otobüsün %73 pay alacağını göstermektedir (Hurst, 2011). Batarya elektrikli otobüs ve yakıt hücreli elektrikli otobüslerin pazar payı sırasıyla %8 ve %19 oranla nispeten küçük olacaktır.



Şekil 5. 2020 yılında Kuzey Amerika'da elektrikli otobüs pazar eğilimi (Hurst, 2011)

Bir başka çalışmaya göre (Göhlich vd., 2018), 2030 yılında, batarya elektrikli ve yakıt hücreli elektrikli otobüslerin sayısı, Avrupa'da hibrit otobüs sayısını aşacaktır. Çalışmada, kentsel elektrikli otobüs sistemleri için teknik fizibilite değerlendirmesine ve toplam sahip olma maliyetine dayanan temel performans göstergesi olarak kullanılan bütünsel bir tasarım metodolojisi sunulmaktadır. Çalışmada, operasyonel dönemde, tüm maliyet unsurlarının gelecekteki gelişmeleri göz önünde bulundurulmakta ve teknik sistemlerin maliyetini tahmin etmek için bileşene ait deneyim eğrisi yaklaşımı seçilmektedir. Değerlendirmeler, 2017 ve 2025 yılları için yapılmıştır. Elektrikli otobüs sistemlerinin teknik olarak elverişli olduğunu ve 2025 yılından itibaren ekonomik olarak rekabetçi olabileceğini belirlemiştir. Mevcut teknolojiler ve işletme gereklilikleri göz önüne alındığında kısa şarj süreli tipinin yıllar içinde en uygun çözüm olacağı belirlenmiştir. (Bkz. Şekil 6).



Şekil 6. Tahmini araç elde etme maliyeti

2.4 Elektrikli/Hibrit Otobüslerin Değerlendirilmesi

Elektrikli/hibrit otobüs, dizel otobüsten farklı işletme özellikleri sunmaktadır. Teknolojinin başarılı bir şekilde uygulanması için bu özellikler göz önüne alınmalıdır (Tzeng vd., 2005). Değerlendirmeye alınan özellikler şunlardır:

- Ekonomik açıdan; sermaye maliyeti, altyapı yatırımları, bakım ve işletme maliyetleri;
- Teknik işletme açısından; menzil, ivmelenme, şarj süresi, kullanılabilirlik ve teknik altyapı;
- Çevresel açıdan; sera gazı emisyonları, gürültü ve hava kalitesi;
- Enerji açısından; enerji kaynağı kullanımı, enerji tüketimi ve yakıt verimliliği.

Bu bölüm, bu özelliklerin ayrıntılı bir incelemesini vermektedir ve elektrikli/hibrit otobüs için bütünsel bir değerlendirme temelini oluşturmaktadır.

2.4.1 Ekonomik Verimlilik

Toplam Sahip Olma Maliyeti⁷ (TCO) elektrikli/hibrit otobüs uygulamasının önündeki kısa vadede ana engellerden biri olarak tespit edilmiştir (Kühne, 2010). TCO maliyeti, üretim fiyatı ve bakım giderleri, işletme giderleri, enerji dağıtımı, altyapı, emisyon, sigorta ve ömür sonu⁸ maliyetlerini içerir. Literatürdeki çalışmalar, TCO maliyetini operasyonel verilere (FCH-JU, 2012), ya da yaşam döngüsü analizi modelleriyle (Torchio ve Santarelli, 2010) hesaplanmasını açıklamaktadır. Bununla beraber, çeşitli çalışmalar elektrikli/hibrit otobüste TCO tahmininde birçok belirsizlik olduğunu göstermektedir (Lajunen, 2014). TCO hesaplaması, operasyonel ve lojistik etmenlere

⁷ Total Cost of Ownership (TCO)

⁸ end-of-life

son derece bağılıdır; örneğin, yakıt fiyatı (dizel, elektrik ve hidrojen) TCO tahminlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Conti vd., 2015).

Emisyon maliyeti / ceza ve vergi politikalarında farklılıklar, TCO değerini etkilemektedir (Lajunen, 2014). Bu nedenle, bahsi geçen çalışmada sunulan TCO yorumu literatürden elde edilen ortalamalara dayanmaktadır. Tablo 1 ile görüldüğü gibi, % 100 elektrikli otobüslerin imalat fiyatı, dizel muadillerine göre daha yüksektir. Ek maliyet, batarya paketi, elektrik motoru ve yardımcı sistemler gibi elektronik bileşenlerin maliyetine atfedilebilir. Paralel ve seri hibrit otobüslerin fiyatı arasında önemli bir farklılık yoktur. BEB otobüs için, kısa şarj süreli tipi küçük boyutlu batarya paketi kullanılması nedeniyle uzun şarj süreli tipten daha ucuzdur (Feng ve Figliozzi, 2013). FCEB otobüs, 2 milyon Dolarlık ortalama üretici fiyatı ile piyasada mevcut en pahalı elektrikli otobüs tipidir. İşletme maliyeti açısından, elektrikli otobüs dizel otobüsten daha avantajlıdır. BEB işletme maliyetinde ortalama % 80 azalma sağlar. Öte yandan HEB tipi otobüsler, seri veya paralel olsun, ortalama % 8-15 oranında işletme maliyetini azaltmaktadır. Ancak, altyapı maliyeti açısından kısa şarj süreli BEB en pahalı seçenek olarak kabul edilir. Ayrıca, FCEB ve uzun şarj süreli BEB otobüslerin şarj olabilmesi için şarj istasyonlarında büyük altyapı değişikliği gerektirir. Kısa şarj süreli BEB otobüslerin güzergâh boyunca daha yüksek sayıda şarj istasyonuna ihtiyaçları vardır (Živanović ve Nikolić, 2012).

Tablo 1. Elektrikli otobüslerin imalat, bakım, işletme ve altyapı maliyetleri

Güç aktarma	Birim fiyat (\$)	Bakım maliyeti (\$/km)	İşletme maliyeti (\$/km)	Altyapı maliyeti (\$/km)	TCO (\$/km)
İYM dizel	280.000	0,38	0,8	0,04	2,61
HEB seri	410.000	0,24	0,68	0,04	2,98
HEB paralel	445.000	0,26	0,76	0,04	2,85
FCEB	2.000.000	1,2	0,53	0,16	5,71
BEB uzun şarj süreli	590.000	0,2	0,15	0,15	6,83
BEB kısa şarj süreli	530.000	0,2	0,15	0,26	3,97

İncelenmesi gereken ekonomik yönlerden birisi de yakıt maliyetidir. Hibrit elektrikli otobüslerde küçültülmüş motor, kısıtlanmış rölanti çalışma süresi, rejeneratif frenleme özelliği ve uygun kontrol stratejisi dahil olmak üzere bazı özellikler, yakıt ekonomisini geliştirmiştir Xiong ve Yin (2009). Bu çalışmada, hibrit otobüsün yakıt ekonomisi şehir içi transit otobüs sürüş çevriminde

değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, yakıt tüketiminin, şehir içi sürüş koşullarında kullanılan geleneksel İYM'ye sahip otobüslere göre ortalama %21.3 azaldığı gösterilmektedir.

2.4.2 İşletme Özellikleri

2.4.2.1 Menzil ve Şarj Süresi

Genel olarak, menzil, elektrikli otobüsün ulaşım sektöründe çekiciliğini azaltan en önemli engeldir (Neubauer ve Wood, 2014). 'Menzil Kaygısı' her zaman elektrikli otobüsün işletme özellikleri içerisinde bir sınırlama parametresi olmuştur (Feng ve Figliozi, 2013). HEB ise dizel otobüslere benzer bir menzil mesafesini sağlamaktadır. Ayrıca, FCEB otobüsü, ortalama 300 km den fazla menzil ile dizel otobüslerinkine benzer bir menzil sağlamaktadır (FCH-JU, 2012). Ancak, menzil sorunu, BEB kategorisinde açıktır: kısa şarj süreli BEB 30-40 km sınırlı bir menzile sahipken (ör: Proterra EcoRide BE35), uzun şarj süreli BEB, tek bir şarjla 250 km menzile sahiptir (ör: BYD-BE 40ft).

2.4.2.2 Altyapı

Elektrik/hibrit otobüsler için başka bir önemli işletme yönü altyapıdır. Hibrit otobüs işletmesi için herhangi bir özel altyapı gerekmez ve mevcut altyapı ile çalışılabilir. FCEB işletmesi için bir hidrojen dolum istasyonu gerekmektedir. BEB kategorisi için, bazı fazladan altyapı tesisleri gereklidir. Uzun şarj süreli tiplerde büyük istasyonlara ihtiyaç vardır, batarya değiştirme imkânı olan istasyonlarda ise ek batarya kaynağı gerekmektedir. BEB kısa şarj süreli otobüs şarj altyapısı için, şarj noktaları, havai şarj (pantograf) ve endüktif şarj gibi çeşitli alternatif kaynaklar kullanılabilir. Şarj noktalarının montajı mevcut altyapılar üzerine çok önemli değişiklikler gerektirmese bile, bu noktaların belli sayıda dağılım gereksinimi, kısa şarj süreli BEB uygulaması için bir engel olarak görünmektedir. Buna ek olarak, şarj istasyonlarının elektrik şebekeleri üzerindeki etkisi, kısa şarj süreli BEB uygulaması için özellikle büyük metropollerde bir engel olarak kabul edilmektedir (Kakuhama vd., 2011).

2.4.3 Enerji Depolama Sistemleri

Elektrikli otobüslerin enerji verimliliği değerlendirmesinde, batarya ve süperkondaktör gibi, enerji Depolama Sistemleri⁹ (ESS) önemli bir rol oynamaktadır (Živanović ve Nikolić, 2012). ESS, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu ve maliyet olmak üzere üç ana kritere göre değerlendirilmektedir. Enerji yoğunluğu birim hacimde depolanan enerji miktarını ifade ederken, güç yoğunluğu bir birim hacim için güç miktarı veya enerji transferinin birim zamandaki oranını ifade eder (Lu vd., 2013).

⁹ Energy Storage Systems

Enerji depolama sistemleri, ultra kondansatör¹⁰ (UC), yakıt hücreleri ve batarya dâhil olmak üzere üç kategoride sınıflandırılabilir.

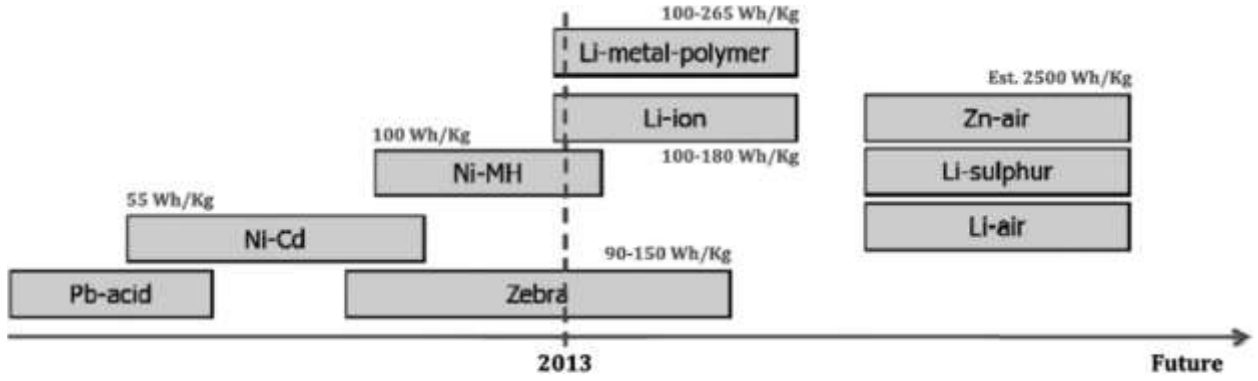
Ultra kondansatör ESS, hiçbir kimyasal değişim olmadan, negatif ve pozitif şarjları ayırarak enerji depolar: Bu özellik uzun bir yaşam döngüsü sağlar (Živanović ve Nikolić, 2012). Ultra kondansatörler, hızlı şarj / deşarj oranları sağlayan yüksek güç yoğunluğu ve düşük enerji yoğunluğu ile karakterize edilir. Bu nedenle, rejeneratif frenlemede elektrik depolanması için çok uygundur. Ultra kondansatörler, kısa menzilli batarya elektrikli otobüs için uygundur ve genel olarak kısa şarj süreli BEB ve HEB için kullanılmaktadır (Lu vd., 2013).

Yakıt pili, enerji depolama sistemi, anot yakıtı ve katot oksidanı bir elektrokimyasal işlem dahilinde kullanarak elektrik üretir. Çeşitli bileşenler, yakıt hücresinde kullanılabilir, ancak hidrojen yakıtı yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle diğer türlere göre en uygun yakıt olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, genel olarak, yakıt hücrelerinin nispeten düşük enerji yoğunluğundan dolayı, hidrojenin büyük miktarda depolanması gereklidir (Sulaiman vd., 2015).

Şekil 7 ile gösterildiği gibi, batarya, bir enerji depolama sistemi olarak, enerji veya güç yoğunluğu açısından çeşitli seçenekler sunar. Bugünkü teknolojiler arasında, Lityum-İyon (Li-ion) piller BEB otobüsler için en çok tercih edilen seçenektir. Bu doğrultuda, Lityum-İyon batarya türlerinin bazıları şarj verimliliği, şarj süresi, enerji tüketimi ve ağırlık parametreleri kapsamında karşılaştırılmıştır (Ly vd., 2016). Bu çalışma sonucunda, Lityum-İyon LTO tipinin ağırlık sınırı sebebiyle hiçbir şarj sisteminde tercih edilmeyeceği, Li-ion 18650 ve LiFePO₄-HP türlerinin rejenerasyon verimliliğinin düşük olmasından dolayı sadece batarya değişim kullanım tipine uygun olduğunu görülmektedir. LiFePO₄-HE ve Li-Ion NANO NMC batarya türlerinin ise tüm şarj sistemleri için uygun olduğu görülmektedir.

Şekil 7 ile gösterildiği gibi, gelecekteki teknolojik gelişmelerde, Lityum-hava (Li-hava) ve Lityum-kükürt (Li-sülfür) gibi yeni teknolojiler, Li-ion pillerin iki katı kadar enerji yoğunluğu sağlayabileceklerdir. Ayrıca, yakıt hücreleri için tepki süresi ve enerji yoğunluğu geliştirmek için nanoteknoloji uygulamaları geliştirilme aşamasındadır (Živanović ve Nikolić, 2012).

¹⁰ Ultra Capacitor



Wh/Kg refers to Energy Density

Şekil 7. Elektrikli araç uygulamaları için pil teknolojileri

Sunulan enerji depolama aygıtlarının temel özellikleri bazı otobüsler için özet olarak Tablo 2 ile verilmektedir (Živanović ve Nikolić, 2012). Tabloda görüldüğü gibi, Li-ion bataryalar mevcut otobüs çözümlerinde temel tercihtir. Bununla beraber, Zebra batarya ve Demir-Fosfat batarya teknolojisi de kullanılmaktadır. Enerji depolama aygıtlarının enerji kapasitesi BEB tiplerinde HEB ve FCEB' lere göre yüksek olduğu görülmektedir.

2.5 Sonuç

Bu bölümde, şehir içi taşımacılıkta kullanılan elektrikli/hibrit taşıt tipleri hakkında genel bir giriş yapılmıştır. Raporun ilerleyen kısımlarında ülkemize uygun sürüş çevrimleri tespit edilerek hibrit enerji yönetim sistemi algoritmaları konusunda yapılan çalışmalar sunulacaktır.

Tablo 2. Hibrit otobüs çözümlerinde enerji depolama aygıtlar özellikleri

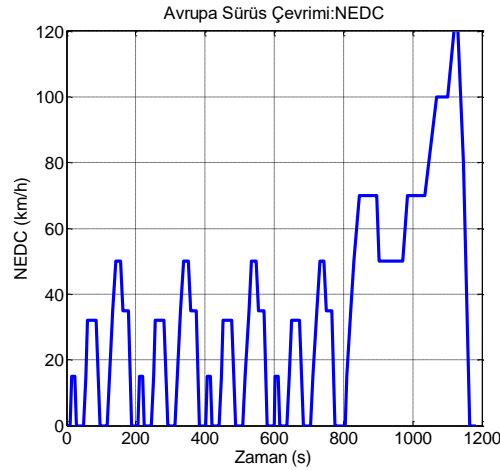
Otobüs tipi	Enerji depolama aygıtı
MAN, Lion's City Hibrit	Ultra kondansatör, Enerji kapasitesi: yaklaşık 0,5 kWh, Max. şarj/deşarj gücü: 200 kW, Gerilim: 400-750 V
MERCEDES-BENZ Citaro G BlueTec Hibrit	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 19,4 kWh, Max. şarj/deşarj gücü: 240 kW, Aracın çatısında yerleştirilmiş.
VOLVO 7700 Hibrit	Nikel-Metal Hibrit batarya, Enerji kapasitesi: yaklaşık 4,8 kWh, Ağırlık: yaklaşık 350 kg, Gerilim: 600 V, Aracın çatısında yerleştirilmiş.
SCANIA Etanol Hybrit	Ultra Kondansatör, Enerji kapasitesi:400 Wh, 4x125-Volt Maxwell BOOSTCAP modül, Hava soğutmalı, Tasarım ömrü:10-15 yıl
SOLARIS Urbino 18 DIWA	Ultra Kondansatör, Enerji kapasitesi: 0,5 kWh, 5x125-Volt Maxwell, Ağırlık: 410 kg
ORION VII Hibrit	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 32 kWh, Ağırlık: 364 kg, Tasarım ömrü: 6 yıl, Aracın çatısında yerleştirilmiş
Mercedes-Benz Citaro Yakıt hücreli elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 26 kWh Şarj/deşarj gücü: 250 kW
Van Hool Yakıt hücreli elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 17,4 kWh Şarj/deşarj gücü: 76-125 kW
New Flyer Yakıt hücreli elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 47 kWh
Van Hool (UTC) Yakıt hücreli elektrikli	NaNiCl (ZEBRA) batarya, Enerji kapasitesi: 53 kWh
Optare Solo EV Batarya elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 80 kWh
Solaris Urbino Batarya elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 120 kWh, Gerilim: 600 V
BYD eBUS-12 Batarya elektrikli	Lityum-Demir-Fosfat veya "Fe" batarya, Enerji kapasitesi: 324 kWh, Menzil: 300 km tek şarjda
Tindo Solar elektrikli	Li-ion batarya, Enerji kapasitesi: 261,8 kWh,

BÖLÜM 3. SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİNİN OLUŞTURULMASI

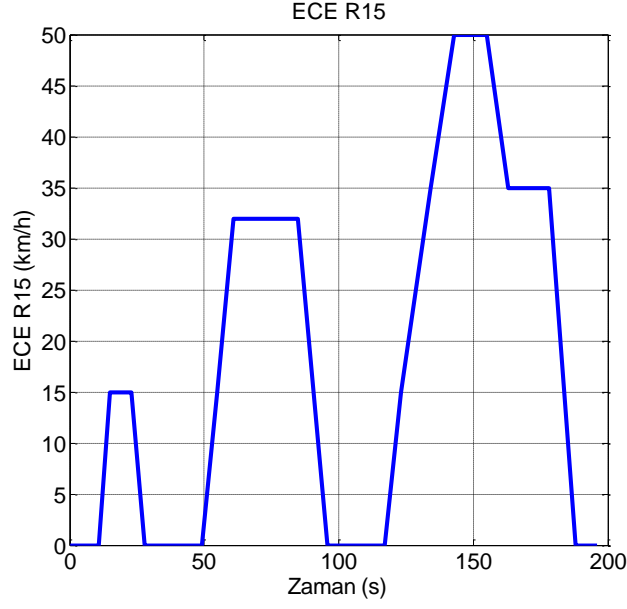
3.1 Giriş

Sürüş çevrimleri, bir taşıtın bir bölgede ortalama olarak nasıl kullanıldığını ifade etmeye yarayan taşıt hız-zaman grafikleridir. Sürüş çevrimini oluşturmada ilk adım bölgeyi temsil niteliği olan rotaların seçilmesidir. Genellikle, yoğun olarak kullanılan ana arterler seçilmektedir. Bu yollar seçilirken, bunların farklı trafik sürüş koşullarını barındırıp barındırmadığına bakılmaktadır; hem çok sıkışık bir trafiğe sahip şehir içi yoğun kentsel bölgeler, hem de yüksek hızlara çıkılabilen otoyollar kapsanmalıdır.

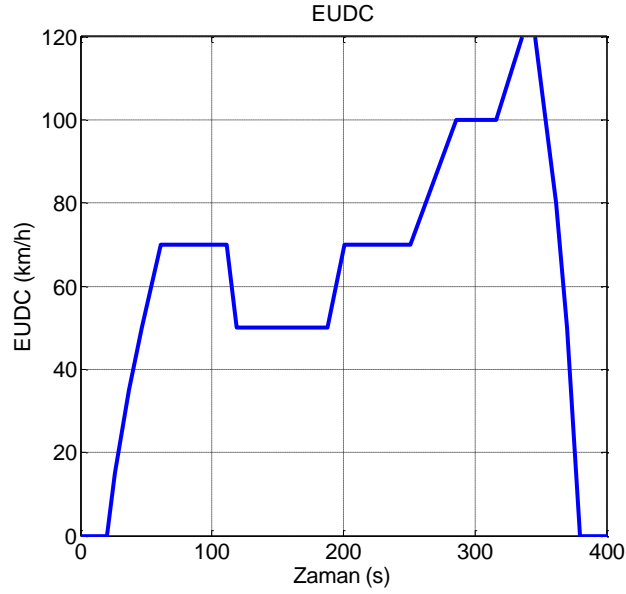
Sürüş çevrimleri, kullanım amacına göre de iki farklı şekilde sınıflandırılır. İlk grupta, trafiğe çıkacak araçların denetlenmesine yönelik olarak oluşturulan ve homologasyon testlerinde kullanılan çevrimler bulunmaktadır. Diğer grup ise, belli bir bölgedeki trafik karakteristiğini anlamak ve o bölgedeki emisyonların gerçekçi olarak tahmin edilebilmesi için oluşturulan çevrimler bulunmaktadır (Dinç, 2013), (Boulter ve Cox, 1999), (Ergeneman vd., 1997), (Kuhler ve Karstens, 1978). Farklı ülkeler, kullanım alışkanlıkları, trafik altyapısı ve coğrafi şartlara göre kendi sürüş çevrimlerini oluşturmuştur (Hung vd., 2007). Avrupa'da hafif hizmet taşıtlarının onayı için belirlenen en genel sürüş çevrimi Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)'dir. Bu sürüş çevrimi şehir içi ve şehirlerarası sürüş koşullarına uygun iki kısımdan oluşur: ECE 15 ve EUDC. Misalen, ECE15 test çevrimi ortalama olarak 18,7 km/s'lik bir hıza ve 50 km/s maksimum hız ile 4 km'lik bir şehir içi kullanıma işaret eder. Toplam süresi 780 saniyedir (Tzirakis vd., 2006). Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC), ECE 15 ve EUDC sürüş çevrimleri Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10 ile gösterilmektedir.



Şekil 8. Yeni Avrupa sürüş çevrimi(NEDC)



Şekil 9. ECE 15 test çevrimi



Şekil 10. EUDC test çevrimi

Yeni Avrupa Sürüş Çevriminde, yakıt tüketimi ve CO_2 emisyon değeri tahminleri %10-%20 hassasiyetle yapılmaktadır. Belli bir bölgenin yakıt ve emisyon değerlerini yüksek hassasiyetle tahmin etmek için o bölgeye ait araç hızının ve ivmesinin ortalama değerlerinin alınması yeterli değildir. Bu problemi çözmek için o bölgeye ait karakteristik özelliklerinin detaylı bir şekilde çıkarılması gerekmektedir (Ergeneman vd., 1997).

Sürüş çevrimini oluşturmaya başlamadan önce, çevrimin bazı parametreleri belirlenmektedir. Bunlar, çevrimin uzunluğu, çevrimde kaç adet rölanti fazı bulunacağı ve bu rölanti fazlarının şehir çevrimi içerisinde yüzde olarak ne kadar zaman kapsayacağıdır. Yarı-rastgele metot ile çekilişler yapılırken bu parametreler dikkate alınmaktadır (Dinç, 2013). Ard arda eklenecek mikro-yolculuklar seçilirken, bunların ilk hızlarının, seçilen bir önceki mikro yolculuğun son hızına eşit olması gerekmektedir.

Yürütülen literatür taraması çalışmasında, sürüş çevrimlerinin elde edilmesiyle ilgili birtakım yöntemler tespit edilmiştir. Emisyon ve yakıt tüketimi tahmin modellerinde kullanılmak üzere şehiriçi trafiğin benzetimi farklı metodolojilerle ele alınmıştır. Kamble vd. (2009) çalışmasında kentsel trafik için gerçek seyahat verisinden oluşturulan mikro-yolculukları kullanarak bir sürüş çevrimi oluşturma metodolojisi tanımlamıştır. Bu metodoloji, hız-zaman verisini kullanmakta, veriden hesaplanan yüzde ivmelenme, yüzde yavaşlama, yüzde rölanti, yüzde seyir ve ortalama hız değişkenlerinin farklı mikro-yolculuklardaki benzerliklerine göre gruplandırmaktadır. Gruplandırma için geliştirilen algoritma, önceden belirlenen üst ve alt limitleri kullanarak ikili karşılaştırmalarla gruplandırma yapmaktadır. Belirlenen gruptan, sıklıklarına göre mikro-yolculuklar seçilmekte, bu mikro-yolculuklar arka arkaya eklenerek sürüş çevrimi oluşturulmaktadır.

Bu çalışmada, sürüş çevrimlerinin elde edilmesi farklı boyutlarda ele alınmıştır:

- Genel sürüş çevrimlerinin elde edilmesi: Konya ili sürüş çevriminin oluşturulması için Konya şehrinde büyük boyutlu sürüş verisi toplanmıştır. Seçilen farklı tipteki özel taşıtlarda bulunan 'taşıtlar takip sistemi' cihazlarıyla gerçek trafik koşullarında veriler toplanmıştır. Veri toplayıcısı taşıtlara CanBus üzerinden bağlanıp hız-zaman verilerini kaydetmiştir. Veriler bir ay süreyle, haftanın 7 günü 24 saat boyunca toplanmıştır.
- Ana Bileşenler Analizi (PCA): Çalışmanın devamında farklı trafik modlarının elde edilmesi için PCA analizi yapılmıştır. Analiz, belli rotalara sahip şehir içi belediye otobüsleri için yapılmıştır. Veri toplayıcı, gene hız-zaman verilerini bir ay süreyle toplamıştır.

3.2 Genel Sürüş Çevrimlerinin Elde Edilme Metodolojisi

Genel Sürüş çevrimleri elde edilirken, trafik koşullarını temsil eden mikro-yolculuklar oluşturulmuştur. Kullanılan metodoloji, hız-zaman profillerinin hızlanma, yavaşlama, sabit hızda seyir ve ortalama hız gibi parametrelerinin göz önünde bulundurulmasını kapsamaktadır. Bu parametreler metodolojinin içinde sürüş verisi toplama tekniği, mikro yolculuğun üretilmesi, veri

analizi ve sürüş çevriminin yapısı başlıkları altında yer almaktadır. Bu adımlar sırasıyla aşağıda anlatılmıştır.

3.2.1 Sürüş verisi toplama tekniği

Literatürde, veri toplama tekniğiyle ilgili iki temel yöntem vardır. Bunlar araç takip sistemleriyle verilerin bir merkezde toplanması yöntemi ve araç içi deneysel donanımla verilerin kaydedilmesi yöntemidir. Her iki durumda da, veri toplama çok uzun süreye yayılarak yapılmaktadır. Bunun sebebi, yüksek sayıda araç kullanılmasının gerekliliği ve ticari taşıtlar gibi bazı taşıt tiplerinin boş ya da dolu iken çok değişken ağırlıkta olmaları; dolayısıyla günün farklı saatlerinde verinin farklı bir şekilde değerlendirilmesi gerekliliğidir. Bunun yanı sıra, sezgisel yöntemler yerine sistematik bir yaklaşımla oluşturulduğunda, sürüş çevriminin gerçek koşulları genelleştirme kabiliyetinin daha yüksek olacağı değerlendirilmektedir.

Araç takip sistemi yöntemi, veri toplamak için popüler yöntemlerden biridir. Bu teknik, trafik içerisinde, araç takip sistemi cihazına sahip, rastgele seçilen araçların, belli bir merkezden takip edilerek hız verilerini GSM veya 3G teknolojileriyle iletilip kaydedilmesine dayalıdır. Takip tekniği gerekli veri büyüklüğü elde edilene kadar farklı araçların farklı rotalarda devam ettirilmelidir. Bu rotalar bölgenin ana arterlerini içinde barındırmalıdır. Araç takip sistemleri, ticari vasıtalarda yoğunlukla kullanıldığı için bu yöntem sürüş çevriminin elde edilmesi için son derece elverişlidir. Dezavantajı, toplanılan verilerdeki değişken zaman adımı olabilmektedir.

Araç içi deneysel donanımla ölçüm yönteminde, araç içerisine hız verilerini temin edecek GPS tabanlı araç veri toplama donanımı yerleştirilmektedir. Cihaz araç çalışmaya başladıktan sonra kayıt işlemine geçer. Ancak, veri kaydı ve aktarımı masraflı bir işlem olduğu için kayıt algoritmaları yazılarak belirli zamanlarda devreye girerek kayıt alınması sağlanmaktadır. Birden fazla araca takarak çok sayıda veri kaydı oluşturabilmektedir. Araç takip sistemi yöntemine göre daha sık zaman aralıklarıyla veri toplamak mümkündür ancak araç takip sistemi operatörünün verebileceği veri zenginliğine ulaşmak daha zordur.

Mevcut çalışmada, genel sürüş çevrimlerinin elde edilme adımında araç takip sistemi yöntemi kullanılmıştır.

Bölüm 3.3'teki PCA analizi esnasında hız zaman verisi araç içine yerleştirilen özel donanımlarla elde edilmiş ve herhangi bir merkeze veri yollanmadan araç içinde kayıt tutulmuştur.

3.2.2 Mikro Yolculuğun Üretilmesi

Sürüş çevrimlerinin oluşturulmasının özünde mikro yolculukların üretilmesi bulunmaktadır. Mikro yolculuk, aracın durduğu iki ardışık zaman noktası arasında oluşmuş hız-zaman profilidir. Bu hız profili içerisinde hızlanma, sabit hız ve yavaşlama modları bulunmaktadır.

3.2.3 Veri Analizi

Toplanan verilerle kaydedilen mikro yolculukların sürüş çevrimi için uygunluğunun tespit edilmesi metodolojinin en önemli adımlarından birisidir. Bilimsel literatürde yer alan birçok kaynak, toplanan verileri performans kriterlerine göre değerlendirmektedir. Performans kriterlerini hesaplamak için gerekli parametreler seçilmelidir. Bu parametreler, trafik koşullarına göre değişen hızlanma, sabit hız, yavaşlama, boşta seyir ve araç hızı gibi değerlerdir. Bu parametrelerin maksimum, minimum, yüzdesel ve ortalama değerleri kullanılarak, birbirine benzeyen gruplar eşleştirilmektedir.

3.2.4 Sürüş çevriminin oluşturulması

Veri analizi kısmında belirlenen parametrelere göre hesaplanarak gruplandırılan mikro-yolculuklar, oluşturulacak sürüş çevrimi için, birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Mikro-yolculuklar belirlenen tolerans limitleri içerisinde karşılaştırmaya sokulur ve birbirine benzeyen yolculuklar belirlenir. Bu adım, mikro-yolculuk sayısını azaltmak için gereklidir. Mikro yolculukların azaltılması, benzer mikro yolculukları bir grup altında toplayarak, o grubu belli toleranslar dahilinde temsil eden tek bir hız-zaman profili yaratılması anlamına gelmektedir. Bu sayede, sürüş çevrimi oluşturulacak bölgenin en sık görülen hız profilleri elde edilebilecek ve gerçek bir sürüş çevrimini temsil edilmesi sağlanacaktır.

3.2.4.1 Konya Sürüş Çevriminin Oluşturulması

Çalışmanın bu kısmında, araç takip sistemi yöntemiyle, Konya şehri için bir sürüş çevrimi oluşturulmuştur. Sürüş verisi bir araç takip sistemi tedarikçi firmasından elde edilmiştir. Standart araç takip sistemi ekipmanı ile kaydedilen format aşağıda verilmiştir:

DeviceID;DateTime[yyyyMMddHHmmss];LongitudeX;LatitudeY;Course,Ignition,Idling;Speed

Bu formatta, DeviceID: Cihaz numarasını; DateTime: yyyyMMddHHmmss formatında lokal tarih saati; LongitudeX: Boylamı (derece) LatitudeY: Enlemi (derece);Speed: Hızı (km/saat); Course: Yönü (kuzeye göre derece. 0-360 arası); Ignition: Kontak açık kalma süresini (saniye); Idling: Rölanti süresini (saniye) temsil etmektedir. Veri kayıt görseli Tablo 3 ile gösterilmektedir.

Tablo 3. Konya sürüş çevrimi için toplanan verilerin gösterimi

v0bf11	20140426081617	81617.00	81617	081617	8:16:17	29777	19.18
v0bf11	20140426081618	81618.00	81618	081618	8:16:18	29778	17.06
v0bf11	20140426081624	81624.00	81624	081624	8:16:24	29784	0.00
v0bf11	20140426082126	82126.00	82126	082126	8:21:26	30086	0.00
v0bf11	20140426083122	83122.00	83122	083122	8:31:22	30682	0.00
v0bf11	20140426083635	83635.00	83635	083635	8:36:35	30995	0.00
v0bf11	20140426084634	84634.00	84634	084634	8:46:34	31594	14.15

Çalışma esnasında, sürüş verisinden elde edilen her bir mikro-yolculuk, hesaplanan yüzde ivmelenme, yüzde yavaşlama, yüzde rölanti, yüzde seyir ve ortalama hız değişkenleri kullanılarak kümeleme (clustering) algoritmalarıyla Şekil 11 ile verilen Konya sürüş çevrimi oluşturma ara yüzünde görülen benzerlik ölçütlerine göre gruplandırılıp, bu grupların karakteristikleri sınıflandırma (classification) algoritmaları ile incelenmiştir.

Kümeleme algoritmasının gerçekçi bir şekilde çalışması için benzerlik ölçüt parametreleri büyük rol almaktadır. Konya sürüş çevrimi için benzerlik ölçüt parametreleri aşağıda verilmiştir:

Time tolerance (Zaman adımı toleransı): Veri toplama tekniğinden kaynaklı oluşan düzensizliğin giderilmesi için, bir zaman adımı toleransı belirlenmesi gerekmektedir. İki veri arasında zaman adımı 'x' saniyenin üzerinde ise, o mikro-yolculuk kayıp olarak nitelendirilmekte ve algoritma içine alınmamaktadır.

Cruise Speed Tolerance (hız toleransı): Bir mikro-yolculuğun, başka bir mikro-yolculuğa benzeyebilmesi için çeşitli (hızlanma, sabit hız, yavaşlama) benzerliklerine bakılması gerekmektedir. Bununla beraber, iki veri arasında belli bir hız toleransı belirlenmelidir. Bu sayede neyin hızlanma neyin sabit hız olduğu ortaya çıkmaktadır. Verilen hız toleransı ile bu benzerlikler belirlenmektedir.

Percentage Tolerance (yüzelik tolerans): Bir mikro-yolculuğun toplam zamanının yüzde kaçını hızlanma, sabit hız, yavaşlama olarak oluştuğu algılamada kayıtlar altında tutulmaktadır. Yine iki mikro-yolculuğun birbirine benzediğinin anlaşılması için bu verileri karşılaştırmak gerekmektedir. Bu tolerans da bu yüzelik oranların karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

Örnek: Mikro-yolculuk 1 → Acc: %30 Cruise %20 Dec %50

Mikro-yolculuk 2 → Acc: %33 Cruise %18 Dec %49

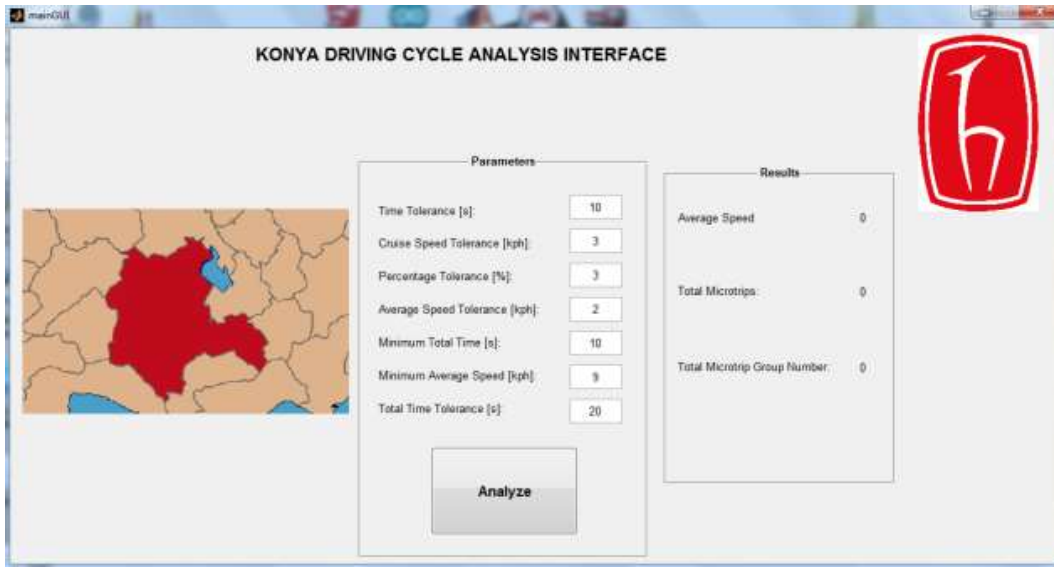
ve tolerans:%3 ise bu iki mikro-yolculuk benzerdir.

Average Speed Tolerance (ortalama hız toleransı): İki mikro-yolculuğun benzemesi için hızlanma, sabit hız, yavaşlama yüzdeleri birbirine benzemesi yeterli değildir. Ayrıca, ortalama hızlarının da yakın olması gerekir.

Minimum Time (asgari zaman): Bir mikro-yolculuk için seçilen asgari süreyi temsil etmektedir.

Minimum Average Speed (asgari ortalama hız): Bir mikro-yolculuğun algoritmaya girebilmesi için belirlenen bir ortalama hızın üstünde bir ortalama hıza sahip olması gerekmektedir.

Total Time Tolerance (toplam zaman toleransı): İki mikro-yolculuğun benzemesinin bir diğer koşulu ise mikro-yolculuk sürelerinin birbirine yakın olmasıdır.



Şekil 11. Konya ili sürüş çevrimi oluşturma arayüzü

Konya sürüş çevrimi için kullanılan benzerlik ölçüt parametre değerleri Tablo 4 ile verilmektedir.

Tablo 4. Benzerlik ölçüt parametreleri

Parametre	Değer
Time Tolerance (sn)	10
Cruise Speed Tolerance (kph)	3
Percentage Tolerance (%)	3
Average Speed Tolerance (kph)	2
Minimum Time (sn)	10
Minimum Average Speed (kph)	9
Total Time Tolerance (s)	20

Üstte bahsi geçen filtrelemelerin yapılması için algoritma içinde bir analiz fonksiyonu üretilmiştir. Geçerli bir sürüş çevrimi oluşturabilmek için yukarıda bahsedilen parametrelere göre analiz fonksiyonu devreye girerek aşağıda belirtilen işlemleri yapmaktadır:

- İlk olarak toplanan verinin zaman aralıklarına bakarak ritmik olmayan artışları elimine edip farklı zamanlarda kaydedilen hız verilerini almaya dahil etmemektedir.
- Veri kopukluğu giderildikten sonra oluşan mikro yolculuların gruplanması gerekmektedir. Mikro-yolculukların çeşitli özelliklerinde (hızlanma, sabit hız, yavaşlama) benzerliklerine bakılarak aynı karakterde olanları bir araya alarak gruplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken, özelliklerin karşılaştırılması için tanımlanan toleransların veri karakteristiğine göre iyi belirlenmesidir.
- Mikro-yolculukları daha özel gruplara ayırmak için, bir önceki adımda oluşan grupların ortalama hızlarına göre de bir değerlendirme yapılarak benzerliklerinden emin olunması gerekmektedir.
- Bütün filtreleme işlemlerinden sonra oluşturulan matris içerisinde, her bir mikro-yolculuğun hızlanma, sabit hız, yavaşlama yüzdeleri, sürüş zamanı, ortalama hızı ve başlangıç bitiş adresleri gibi karakteristik özellikleri oluşturan veriler tutulmaktadır.

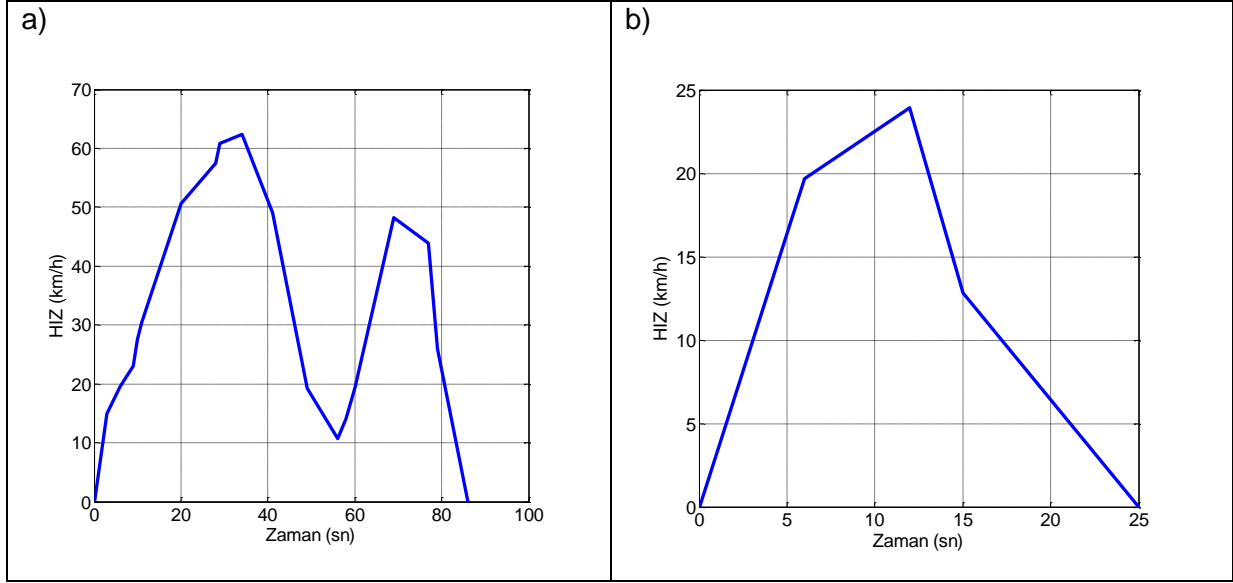
Oluşturulan Konya sürüş çevrimindeki mikro-yolculuklar incelendiğinde, toplam 141298 adet mikro-yolculuk oluşmuştur. Bu mikro-yolculuklar, benzerlik ölçüt parametrelerine göre 7444 grup içerisinde toplanmıştır. Mikro-yolculuk gruplarından en sık görülen hız profilleri Şekil 12 ile verilmektedir.

Benzerlik ölçüt parametrelerine göre oluşmuş 7444 mikro-yolculuk grubu içerisinde en popüler 24 mikro-yolculuk seçilmiş ve rastgele dağıtılarak nihai sürüş çevrimi elde edilmiştir. Seçilen mikro-yolculukların ortalama hızları, hız profil yapıları, süreleri ve toplam mikro-yolculuk sayısından ne kadar sık görüldükleri Tablo 5 ile detaylı bir şekilde verilmektedir.

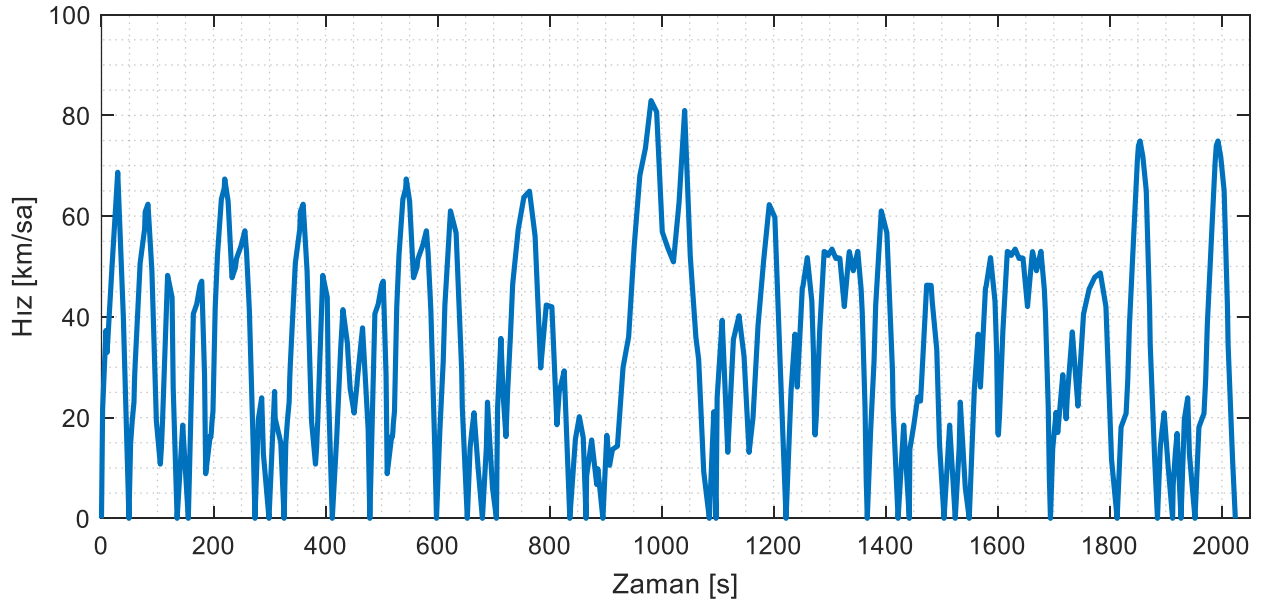
Benzerlik ölçüt parametrelerine göre oluşan Konya sürüş çevrimi, ortalama olarak 32,7 km/s'lik hız ve 82,9 km/s maksimum hız ile 18 km'lik bir şehir içi kullanımı göstermektedir. Bu sürüş çevriminin %39,57 hızlanma, %19,46 sabit hız ve %40,97 yavaşlamadan oluşmaktadır. Toplam süresi 2062 saniyedir. Oluşturulan nihai Konya sürüş çevrimi Şekil 13 ile gösterilmektedir.

Tablo 5. Popüler mikro-yolcukların parametre özelliklerine göre dağılımı

Grup	Mikro yolculuk No.	Ort.Hız (km/h)	% Hızlanma	% Sabit Hız	% Yavaşlama	Süre (s)	Sıklık
1	136	9.2	44.4	18.5	37.1	20	2012
2	51	9.5	47.0	0	53	25	1373
3	18	35	47.7	7	45.3	86	1218
4	75	12.3	29.4	34.3	36.3	25	1155
5	35	11.4	38.5	34.6	26.9	27	1150
6	19	40.2	40.2	16.7	43.1	72	1138
7	70	35.7	38.7	29.5	31.8	55	1001
8	14	41.1	44.8	21.4	33.8	145	964
9	3	41.6	37.8	30.3	31.9	119	924
10	180	9.1	32.1	0	67.9	30	809
11	1	9.7	53.3	0	46.7	15	803
12	110	40.4	37.6	44.1	18.3	49	789
13	13	12.7	58.6	0	41.4	29	774
14	8	27.6	41.9	21	37.1	62	705
15	29	13.6	22.2	22.2	55.6	27	686
16	74	30.5	34.8	7.6	57.6	119	686
17	55	34.5	55.6	11.1	33.3	125	683
18	12	10.3	66.7	0	33.3	12	653
19	15	26.1	49.2	3	47.8	67	648
20	54	10.6	51.2	0	48.8	28	641
21	633	9.00	33.3	33.3	33.3	26	623
22	53	39.2	51.5	0	48.5	79	584
23	541	9.2	40	0	60	16	573
24	59	46.2	36	0	64	190	558



Şekil 12. Popüler mikro-yolculuklar a) En popüler hız profili b) En popüler ikinci hız profili



Şekil 13. Konya sürüş çevrimi

3.3 Şehir İçi Otobüs Sürüş Çevrimlerinin Sınıflandırılması ve Ana Bileşenler Analizi (PCA)

Önceki bölümde yapılan analiz, Konya şehrindeki farklı taşıtlardan alınan verilerin analizi ve bunlardan Konya şehri geneli için uygulanabilecek bir sürüş çevriminin elde edilmesi ile ilgiliydi. Bu bölümde ise, Ankara şehrinde seyreden ve belirli rotalara sahip otobüslerin sürüş çevrimlerinin detaylı bir şekilde incelenmesiyle trafik modlarının (alt sürüş çevrimlerinin) tespitine yönelik bir yöntem önerilmiştir.

Bu bölümde, yol testlerinden elde edilen verilerin analizi için, iki farklı gözetimsiz öğrenme tekniği anlatılacaktır. Birinci teknik, Ana Bileşenler Analizi (PCA)¹¹ yöntemidir. Bu teknik, gözetimli öğrenme metotları uygulanmadan önce veri görselleştirme veya veri ön işleme için kullanılan bir araçtır. İkinci teknik, *K-means* kümeleme tekniğidir. Veri içindeki bilinmeyen alt grupları keşfetme tekniklerinin bir sınıfıdır. Bu iki teknik sonucunda, yol testinden elde edilen veriler gözetimli hale gelmiştir. Bu veriler, yeni verilerin sınıflandırılması için öngörüler üreten bir modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Gözetimli modeli oluşturmak için Matlab programının '*Classification Learner*' uygulaması kullanılmıştır.

3.3.1 Veri Toplama İşlemi

Sürüş çevrimi tespiti için, veri toplama işlemi, özel bir araç takip sistemi firması tarafından gerçekleştirilmiştir. Ankara ili sınırları içerisinde, beş farklı hat üzerinde hizmet veren belediye otobüslerinin bir aylık verisi araç takip sistemi firmasından toplanmıştır.

Veri toplama cihazı, 50 kanallı bir GPS alıcısı, GSM ve GPS antenleri, g-sensör ve OBD-II cihazı içermektedir. Bu cihaz, GPS alıcısı sayesinde takip ettiği aracın belirli bir tarih ve saatteki konum bilgilerine ve hız bilgisine ulaşabilmektedir. Aynı zamanda, cihaz yine GPS alıcısı, odometre ve motor kontrol ünitesi üzerinden mesafe ölçümü yapabilmekte ve motorun çalışma/durma bilgisine ulaşabilmektedir. Bunların yanı sıra, cihaz motor kontrol ünitesinden aracın yakıt seviyesi, devir ve hız gibi bilgilerine gerçek zamanlı olarak ulaşabilmektedir. Cihaz elde ettiği bu bilgileri GSM operatörü üzerinden firmaya ait sunucuya göndermekte ve bilgiler sunucuda depolanmaktadır.

OBD Takip Cihazı ile elde edilen örnek sürüş datası Tablo 6 ile gösterilmektedir.

¹¹ Principal Component Analysis

Tablo 6. Örnek sürüş verisi

Kayıt No	Cihaz No	Plaka	Sürücü	Tarih/Saat	Tür	Hız km/s	Mesafe km	Enlem	Boylam	Yükseklik (metre)	Adres
1	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:05	Konum Bilgisi	35,68		39,926544	32,854778	863	Ankara Kapalı Çarşısı, Necatibey Cd., Korkutreis Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
2	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:13	Konum Bilgisi	43,37	0,07	39,92598	32,854149	864	Tiryaki Pasajı, Necatibey Cd., Korkutreis Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
3	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:17	Konum Bilgisi	46,13	0,06	39,925713	32,85368	866	Telefon Borsası, Necatibey Cd., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
4	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:20	Konum Bilgisi	41,29	0,05	39,925522	32,853355	868	50. Durak, Saygıtay, Necatibey Cd., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
5	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:28	Konum Bilgisi	13,35	0,07	39,925209	32,853024	871	Saygıtay, Elgün Sk., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
6	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:36	Konum Bilgisi	0	0,02	39,925228	32,852928	871	Elgün Sk., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
7	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:40	Konum Bilgisi	7,87	0,01	39,925228	32,852776	872	Elgün Sk., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
8	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:00:56	Konum Bilgisi	21,16	0,08	39,924824	32,852184	876	Can İş Hanı, İzmir-1 Cd., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye
9	191753	06 85 3483		19.9.2016 00:01:04	Konum Bilgisi	36,67	0,07	39,924416	32,851147	869	Çınar Apartmanı, Necatibey Cd., Kızılay Mh., Çankaya, Ankara, Türkiye

3.3.2 Ana Bileşenler Analizi (PCA)

PCA yöntemi, büyük bir dizi içerisindeki ilişkili değişkenlerle karşı karşıya kalındığında kullanılır. Bu yöntem, küme içerisindeki özgün değişkenliği topluca açıklayan daha az sayıda değişkenle özetlenmesini sağlar. PCA yönleri, orijinal verilerin oldukça değişken olduğu özellik yönleridir. PCA yöntemi, PCA yönlerinin hesaplandığı ve bu yönlerin verileri anlamada kullanıldığı bir yöntemdir. PCA, gözetimsiz bir yaklaşımdır, çünkü yalnızca bir dizi özellik içerir (X_1, X_2, \dots, X_p) ve hiçbir ilişkili yanıt (Y) içermez.

3.3.2.1 PCA Nedir?

Bir dizi p özelliği ile ilgili ölçümlerle n adet gözlem görselleştirmek istenilirse, verilerin iki boyutlu dağılımları incelenmelidir. Bununla birlikte, $\binom{p}{2} = \frac{p(p-1)}{2}$ sayıda dağılım grafiği oluşturmak, n sayıdaki gözlemin özelliğini ortaya çıkarmak için gereklidir. Misalen, mevcut durumda, araç sürüş verilerine göre, $p = 7$ özellik için 21 dağılım grafiği oluşturulmuştur.

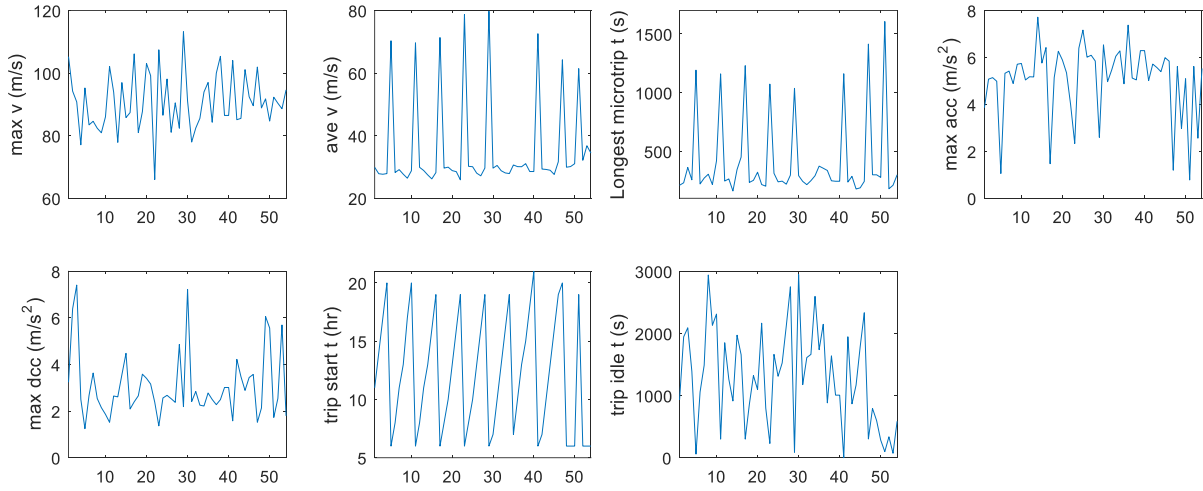
Bu tür bir analizde, bazı veriler bilgilendirici olmayacaktır, çünkü her biri, veri kümesinde bulunan toplam bilginin yalnızca küçük bir bölümünü içermektedir. Dolayısıyla, p büyük olduğunda n gözlemi görselleştirmek için daha iyi bir yöntem gerekmektedir. Bu yöntemin, mümkün olduğunca çok bilgiyi az sayıdaki veri ile yansıtması gerekmektedir.

PCA, veri özelliklerini düşük boyutta görüntülemek için kullanılan bir tekniktir. Bu yöntem, orijinal kümeyle benzer varyasyonu içeren düşük boyutlu bir kümenin elde edilmesini sağlar. Toplanan n gözlemin her birisi p boyutlu özelliğe sahiptir, ancak bu boyutların hepsi aynı derecede önemli değildir. PCA analizi yapmak için sürüş testinden elde edilen veriler dizisi Tablo 7 ile

gösterilmektedir. 54 x 7 boyutlu matris içerisinde her gözlemede hesaplanan $p=7$ farklı değer gösterilmektedir (Not: Çalışmada, farklı güzergâhlar üzerinde 54 farklı tur değerlendirmeye alınmıştır). Şekil 14 ile bütün gözlemlerde hesaplanan 7 farklı özelliğin grafiği gösterilmektedir.

Tablo 7. Turlarda hesaplanan özellikler

Tur Sayısı		$X_1=V_{max}$	$X_2=V_{ave}$	$X_3=dt_{max}$	$X_4=a_{ma}$	$X_5=d_{ma}$	$X_6=t_{start}$	$X_7=t_{idle}$
	1.tur				x	x		
	2.tur							
	...							
	...							
	54. tur							



Şekil 14. Gözlemlerde hesaplanan özelliklerin değişimi

Özelliklerin açıklamaları aşağıda verilmiştir:

- 'max v' her turun maksimum hızını (m/s)
- 'ave v' her turun ortalama hızını (m/s)
- 'L micro t' her turda bulunan en uzun mikro yolculuk süresini (sn.)
- 'max acc' tur sürecinde maksimum ivmelenme değerini (m/s²)
- 'max dcc' tur sürecinde maksimum yavaşlama değerini (m/s²)
- 'trip start' her turun başlangıç zamanını (saat)
- 'trip idle' her turun toplam rölanti süresini (sn.)

PCA yöntemi kullanılırken temel amaç mümkün olduğunca fazla sayıda önemli özelliği gözlemleyebilmektir. Özelliklerin birbirine göre önemi, tur içerisindeki varyasyon miktarı ile ölçülür. PCA yöntemi ile elde edilen özelliklerin her biri, p özelliğin doğrusal bir birleşimidir. Boyutların bulunma biçimi aşağıda açıklanmaktadır.

Bir özellik kümesinin ilk temel bileşeni (Z_1):

$$Z_1 = \varphi_{11}X_1 + \varphi_{21}X_2 + \dots + \varphi_{p1}X_p \quad (1)$$

şeklinde bulunur. Z_1 bileşeni, PCA yönleri içinde en büyük varyansa sahip olan olarak seçilir. Bileşenin normalize edilmesi aşağıda gösterildiği gibi yapılmaktadır:

$$\sum_{j=1}^p \varphi_{j1}^2 = 1 \quad (2)$$

Burada, $\varphi_{11}, \varphi_{21}, \dots, \varphi_{p1}$ elemanları birinci ana bileşenin faktörleri olarak adlandırılır. Verilen bir $n \times p$ veri kümesi için, ilk ana bileşenin hesaplanması, aşağıda açıklanan işlemlerin yapılması ile gerçekleştirilmektedir.

Bu analizde dizinin varyansı önemli olduğundan, X matrisindeki değişkenlerin her sütununun sıfıra ortalanmış olduğu varsayılmaktadır (X'in sütun ortalaması sıfırdır, $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0$). Örneğin (z_{i1}) özelliğin doğrusal bileşeni aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$z_{i1} = \varphi_{11}x_{i1} + \varphi_{21}x_{i2} + \dots + \varphi_{p1}x_{ip} \quad (3)$$

z_{i1} en büyük varyansa sahiptir ve bu bileşenin faktörlerinin normalize edilmesi denklem (3)'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Başka bir deyişle, ilk ana bileşen faktörler vektörü aşağıdaki optimizasyon probleminin çözümü ile elde edilir (James vd., 2013).

$$\text{maksimum} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^p \varphi_{j1}x_{ij} \right)^2 \right\}, \text{ şart } \sum_{j=1}^p \varphi_{j1}^2 = 1 \quad (4)$$

$z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1}$ değerleri, ilk ana bileşenin skorları olarak tanımlanır. Denklem (4), Özdeş Ayırışma¹² ile çözülebilir ve lineer cebirde standart bir tekniktir. Ancak ayrıntılar bu raporun kapsamı dışındadır. Bu çalışmada Matlab programının fonksiyonları kullanılmıştır:

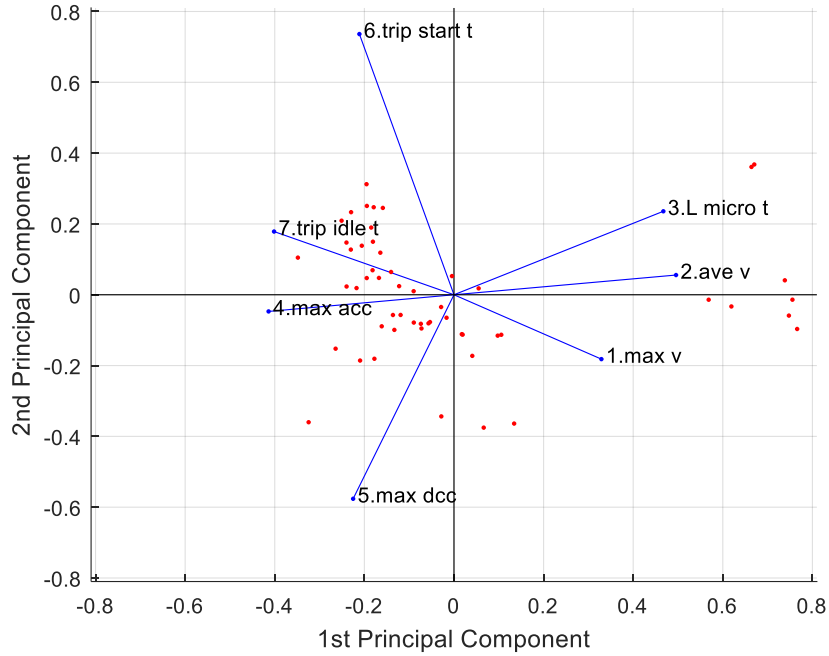
`[φ, Z, latent, tsquared, PVE] = pca(X, 'VariableWeights', 'variance')`

İlk ana bileşen (PC) için geometrik bir yorum şu şekilde açıklanabilir: $\varphi_{11}, \varphi_{21}, \dots, \varphi_{p1}$ elemanlarından oluşan φ_1 faktör vektörü, verilerin özellik alanındaki en fazla

¹² Eigen Decomposition

değiştii yöndür. Eğer $x_{11}, x_{21}, \dots, x_{n1}$ noktaları bu yönde yansıtılırsa, birinci PC skoru (z_1) oluşacaktır.

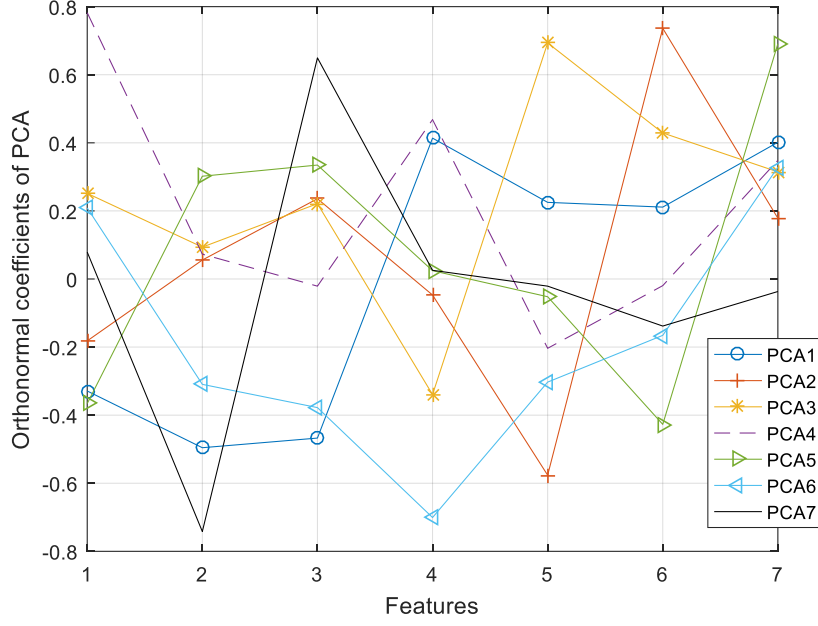
Bu çalışmada sürüş çevrimi verileri üzerinden elde edilen X veri setinde PCA analizi yapılmıştır. Şekil 16, bu verilerin ilk iki temel bileşenini göstermektedir. Ayrıca PC faktörleri (φ) Tablo 8 ile verilmektedir. Şekil 15 ile tüm özelliklerin PC faktörleri gösterilmiştir. Şekil 16'a göre, birinci PC faktörü, ikinci ve üçüncü özellikler üzerinde hemen hemen aynı etkiye sahiptir. Örneğin, birinci özellik, birinci PC faktörü üzerinde, $\varphi_{11} = 0.329$ değerine sahiptir. Dolayısıyla PC1 bileşeni kabaca sürüş çevrimin hız özelliğine (maks. Hız ve ortalama hız) karşılık gelir.



Şekil 15. Sürüş çevrimi verileri için ilk iki ana bileşen

Tablo 8. Ana bileşenler için faktör vektörleri

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
1. max v	0.329	-0.182	0.252	0.782	-0.366	-0.209	0.079
2. ave v	0.496	0.056	0.094	0.073	0.302	0.310	-0.742
3. L micro t	0.467	0.236	0.221	-0.021	0.335	0.378	0.650
4. max acc	-0.414	-0.047	-0.339	0.468	0.024	0.701	0.026
5. max dcc	-0.225	-0.576	0.693	-0.204	-0.052	0.303	-0.021
6. trip start t	-0.211	0.736	0.429	-0.020	-0.427	0.166	-0.138
7. trip idle t	-0.402	0.178	0.315	0.349	0.691	-0.328	-0.037



Şekil 16. Tur özelliklerin PCA faktörleri

PCA yönteminde kullanılacak özelliklerin sayısını düşürmek için bazı sorulara yanıt verilmesi gerekmektedir. Gözlemlerin özelliklerinin ilk birkaç ana bileşene yansıtılmasıyla, belirli bir veri kümesindeki bilgilerin ne kadarı kaybolur? Diğer bir deyişle verideki varyansın ne kadarını ilk bileşenler içermez? Daha genel olarak, her bir ana bileşen tarafından açıklanan varyansın oranını (PVE)¹³ bilmek PCA yönteminde kullanılacak özelliklerin seçimi için önemlidir. Bir veri kümesinde bulunan toplam varyans şu şekilde tanımlanır:

$$\sum_{j=1}^p \text{Var}(X_j) = \sum_{j=1}^p \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 \quad (5)$$

ve m inci PC tarafından açıklanan varyans aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{im}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^p \varphi_{jm} x_{ij} \right]^2 \quad (6)$$

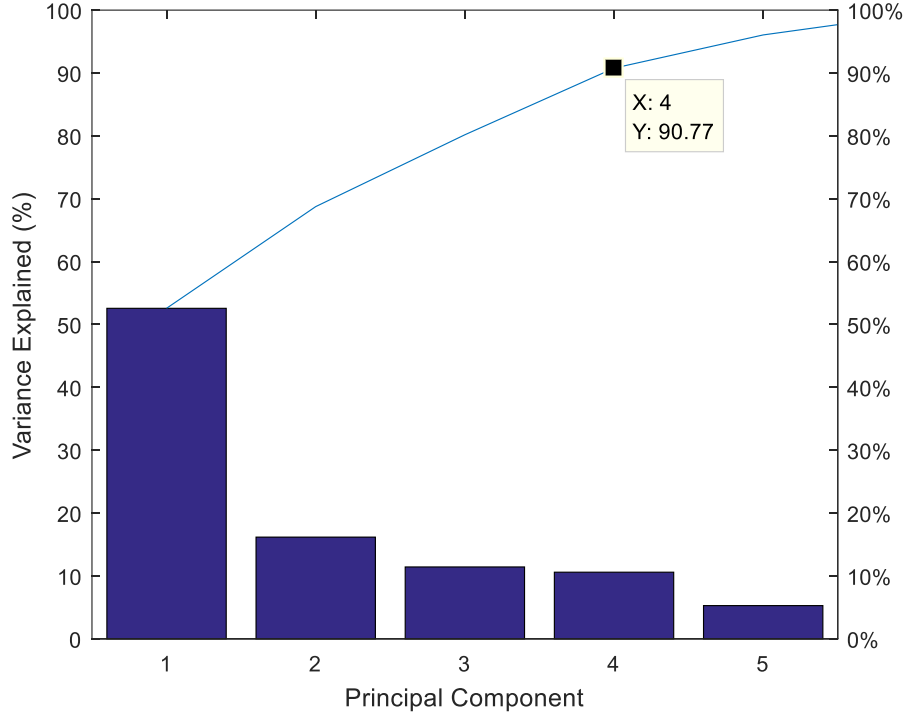
Bu nedenle m inci PC'nin PVE değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{PVE}_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^p \varphi_{jm} x_{ij} \right]^2}{\sum_{j=1}^p \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}^2} \quad (7)$$

İlk m ana bileşenlerinin kümülatif PVE değerini hesaplamak için, ilk m PVE değerlerinin her birini denklem (7) ile hesaplayıp toplamak gerekmektedir. Şekil 17 ile PC'lerle açıklanan PVE değerleri

¹³ Proportion of Variance Explained

gösterilmektedir. İlk ana bileşen, verideki varyansın %52.6'sını açıklamıştır ve bir sonraki ana bileşen ise varyansın %16.2'sini açıklamıştır. İlk 4 ana bileşen ile kümülatif varyansın %90.77'sini açıklamak mümkündür. Bu çalışmada ilk 4 ana bileşenin değerleri, sürüş çevrimi veri özelliklerinin varyansını yansıtmak için yeterli görülmüştür.



Şekil 17. PC ile açıklanan PVE değerleri

3.3.3 Sürüş Çevriminde Kümeleme İşlemi

Kümeleme kavramı, bir veri kümesindeki alt grupları bulmak için çeşitli teknikleri kapsar. Bir veri setinin gözlemlerinde kümeleme yapıldığında bu veri seti ayrı gruplara ayrılmış olur. Her gruptaki gözlemler birbirine oldukça benzerken, farklı gruplardaki gözlemler birbirinden oldukça farklı olacaktır.

Örneğin, her biri p özelliğine sahip n gözlem grubu olduğu varsayalım. n gözlemi, araç sürüş testinden elde edilen örnek tur sayısı ve p özelliği bu örneklerde ölçülen veya hesaplanan hız, ivme ve dur kalk gibi parametreler olsun. Sürüş örnekleri içerisinde bazı turların birbirinden farklı olduğu kolayca ayırt edilebilir. Birbirinden kolayca ayırt edilebilen turlar alt grupları oluşturur. Kolaylıkla ayırt edilemeyen turları alt gruplara ayırmak için ise kümeleme yöntemi kullanılabilir. Bu yöntem gözetimsiz bir kümelendirme yöntemidir çünkü veri seti temelinde yapı keşfedilmeye çalışılmıştır.

Hem kümeleme hem de PCA yöntemi, verileri çok az sayıda özet parametreyle basitleştirmeye çalışır, ancak mekanizmaları farklıdır: PCA, varyansın büyük bir bölümünü açıklayan gözlemlerin düşük boyutlu bir temsili bulmaya çalışır. Kümeleme ise gözlemler arasında homojen alt gruplar oluşturmaya çalışmaktadır. Kümeleme yöntemi pek çok alanda popüler olduğu için, çok sayıda farklı kümeleme yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan ikisi 'K-means' ve 'hiyerarşik kümeleme' yöntemleridir. K-means yönteminde, gözlemler önceden belirlenmiş sayıda kümeye bölüştürülmeye çalışılır. Öte yandan, hiyerarşik kümeleme yönteminde ise, kaç tane kümenin oluşacağı önceden bilinmemektedir. Bu bölümde, sürüş örnekleri üzerinde K-means kümeleme işlemi yapılmıştır.

3.3.3.1 K-Means Kümeleme İşlemi

K-means yöntemi, bir veri kümesini K farklı, çakışmayan kümelere bölmek için kullanılan basit bir yaklaşımdır. K-means kümeleme işlemini gerçekleştirmek için öncelikle istenen küme sayısını (K) belirtmek gerekmektedir. Daha sonra K-means algoritması her gözlemi K alt kümelerinden birine atayacaktır. Yöntemi açıklamak için bazı sembollere ihtiyaç vardır. C_1, C_2, \dots, C_k her kümedeki gözlem endekslerini belirtir. Bu kümeler iki özelliğe sahiptir:

1. $C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k = \{1, 2, \dots, n\}$. Başka bir deyişle, her gözlem K kümelerinden en az birine aittir.
2. $C_k \cap C_{k'} = \emptyset$ tüm $k \neq k'$ için. Başka bir deyişle, kümeler birbirine geçmez: gözlem birden fazla kümeye ait değildir.

Örneğin, i'nci gözlem k kümesinde ise, $i \in C_k$ olur. K-means yöntemi ile küme içi varyasyon mümkün olduğunca küçük tutulmaya çalışılır. C_k kümesi için, küme içi varyasyon $W(C_k)$, bir kümedeki gözlemlerin birbirinden farklılığını anlatmak için kullanılan bir ölçüttür. Dolayısıyla problemi çözmek için aşağıdaki işlem yapılır:

$$\min_{C_1, C_2, \dots, C_k} [\sum_{k=1}^K W(C_k)] \quad (8)$$

Bu denklem, gözlemlerin K sayıda kümeye bölündüğünü belirtir ve tüm K kümeleri üzerinden toplanan küme içi varyasyon mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Denklem 8'de önerilen çözümü uygulamak için küme içi varyasyonu tanımlamak gerekir. Bu kavramı tanımlamak için birçok farklı yol vardır, ancak en yaygın kullanılan yöntem "Squared Euclidean Distance" yöntemidir. Bu yöntem, aşağıdaki denklemle tanımlanır:

$$W(C_k) = \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \quad (9)$$

Burada $|C_k|$ değeri, k. kümedeki gözlem sayısını belirtir.

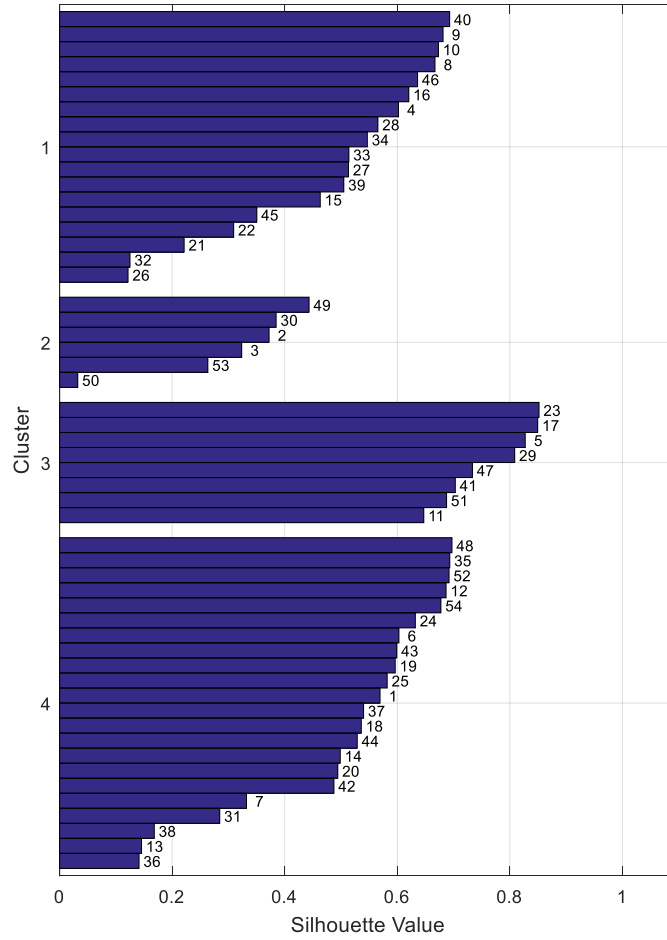
Denklem 8 ve denklem 9'un birleştirilmesi ile, K-means kümeleme yöntemi açıklanır:

$$\min_{C_1, C_2, \dots, C_k} \left[\sum_{k=1}^K \frac{1}{|C_k|} \sum_{i, i' \in C_k} \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2 \right] \quad (10)$$

K-means analizi için Matlab programının hazır komutu kullanılmıştır:

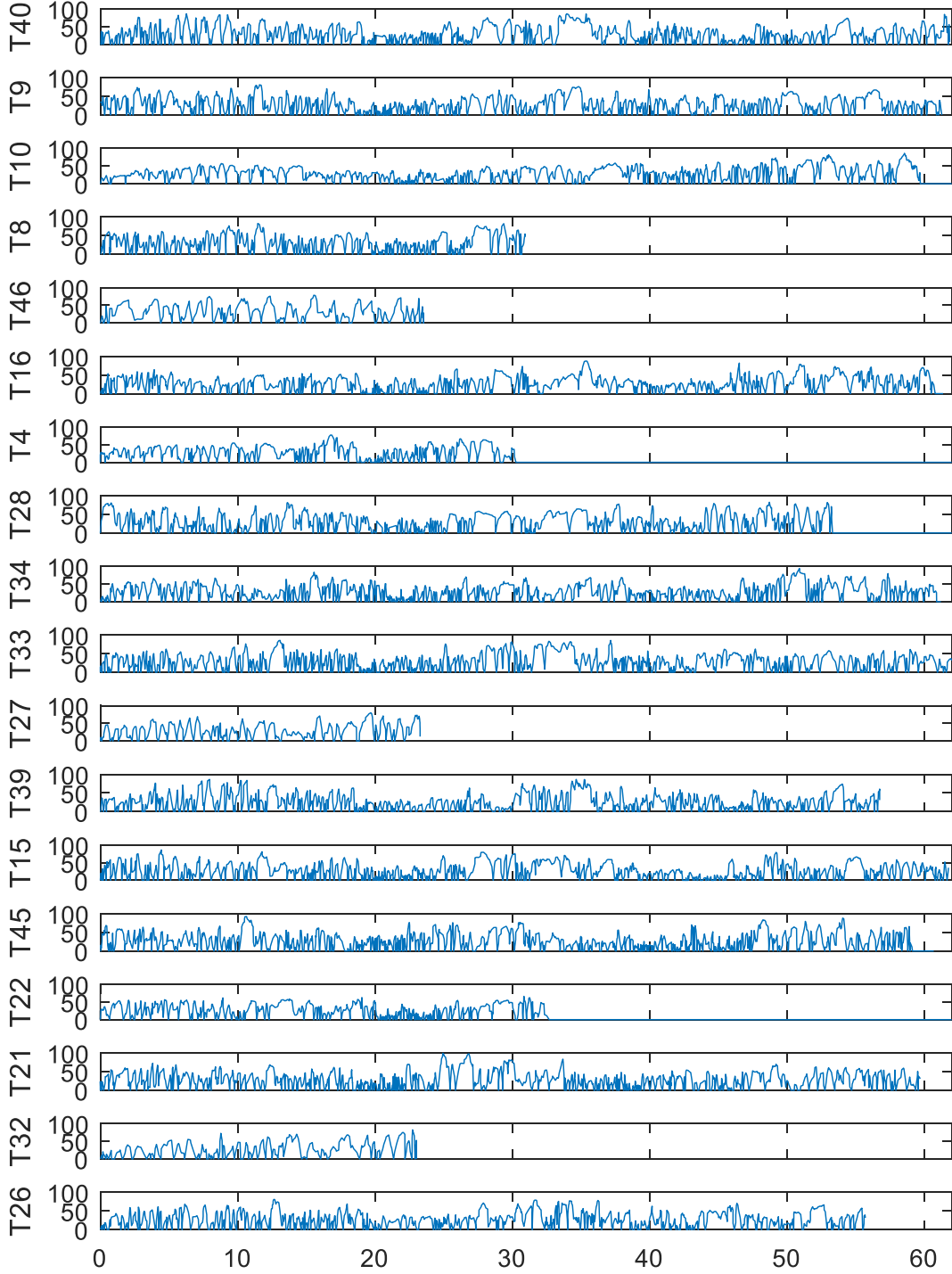
```
Idx = kmeans(Score,4, 'distance','sqeuclid');
```

Bu komutun amacı, gözlem matrisin satırlarını 4 kümeye ayırmaktır. Mesafe hesabı için 'sqeuclid' veya "Squared Euclidean Distance" yöntemi kullanılmıştır. Şekil 18 ile her alt kümeye atanan turun adı gösterilmektedir.

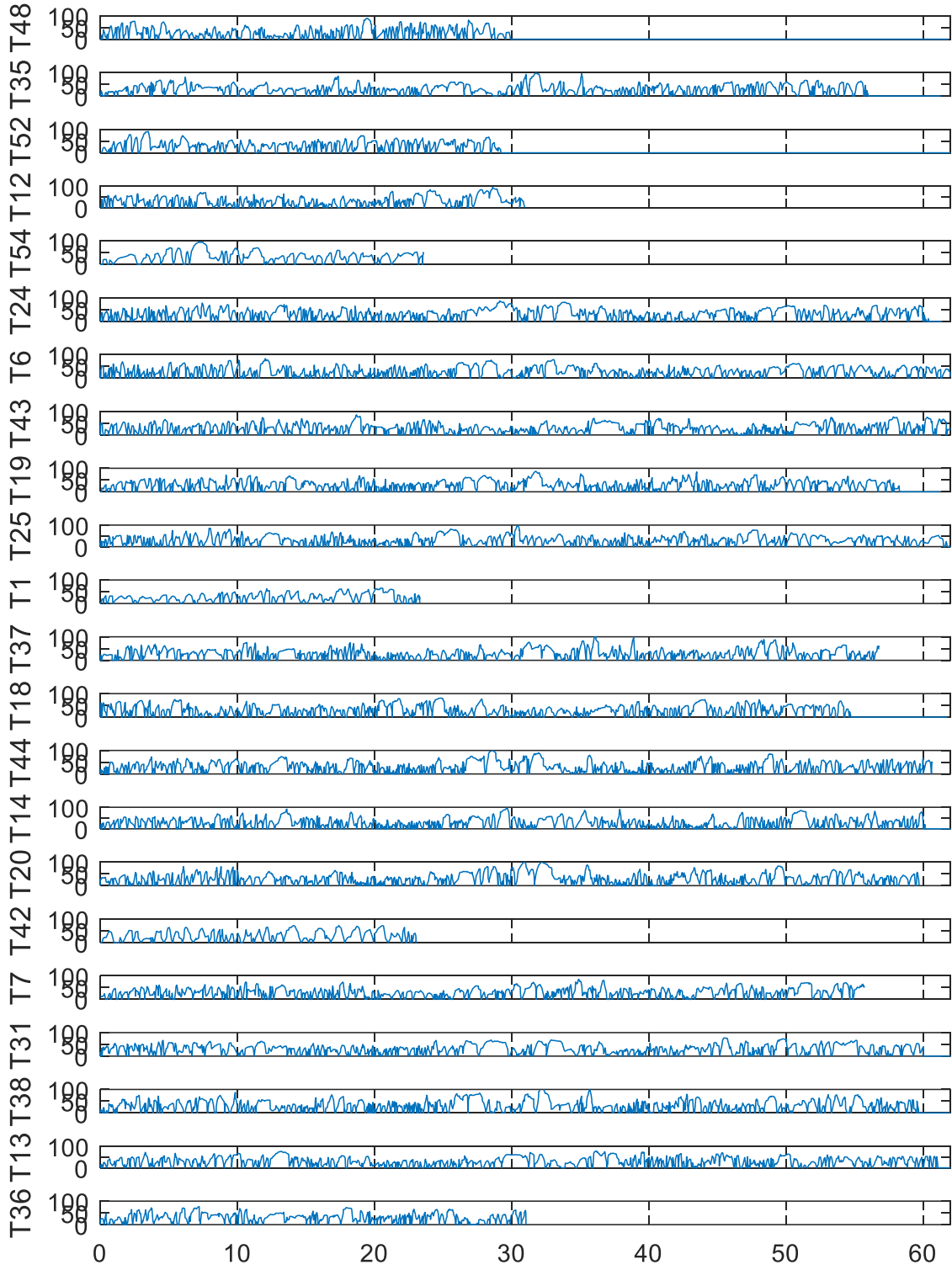


Şekil 18. Farklı kümelerde Silhouette değeri

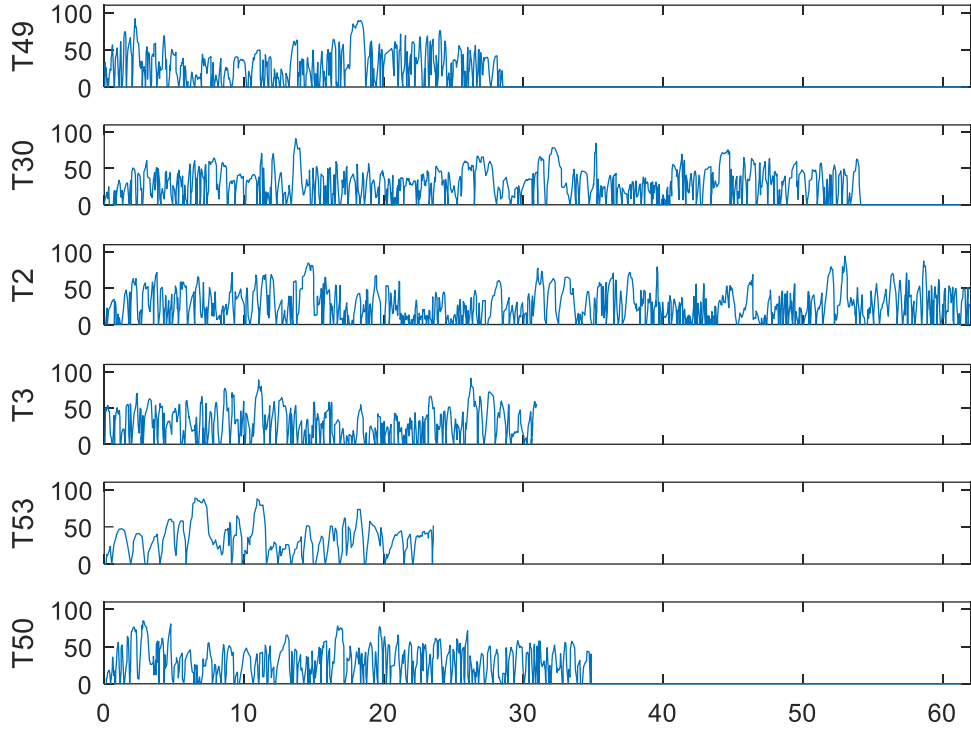
K-means analizi sonucunda elde edilen 4 alt kümeye göre, 54 turun gruplandırılmış görünümü Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21 ve Şekil 22 ile gösterilmektedir. Şekillerdeki yatay eksen, kat edilen mesafeyi, dikey eksen ise hız değerlerini göstermektedir.



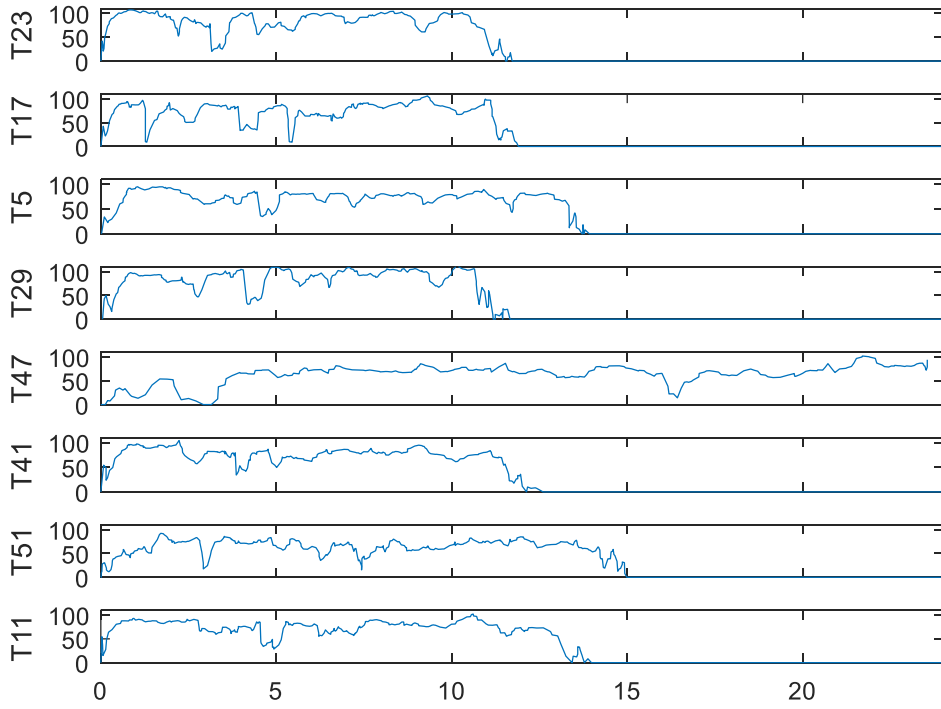
Şekil 19. Küme No.1 hız profilleri



Şekil 20. Küme No.2 hız profilleri



Şekil 21. Küme No.3 hız profilleri



Şekil 22. Küme No.4 hız profilleri

3.3.4 Sürüş Çevrimlerinin Makine Öğrenmesiyle Sınıflandırılması

Matlab programının '*Classification Learner*' uygulaması, verileri sınıflandırmak için modelleri eğitir. Bu uygulama içerisindeki çeşitli sınıflandırıcı teknikler kullanılarak gözetimli öğrenme işlemi yapılabilir. Bu uygulamada veriler incelenebilir, özellikler seçilebilir ve modeller hazırlanarak sonuçlar değerlendirilebilir. '*Classification Learner*' uygulamasının kullanılma sebebi, Şekil 23 ile gösterilen giriş verisi seti üzerinden gözetimli makine öğrenimini gerçekleştirmektir. İlk adımda, PCA yöntemi kullanılarak gözlemlere ait 4 ana bileşen özellik seçilmiştir. İkinci adımda, K-means yöntemi ile gözlemler 4 alt kümeye ayrılmıştır.

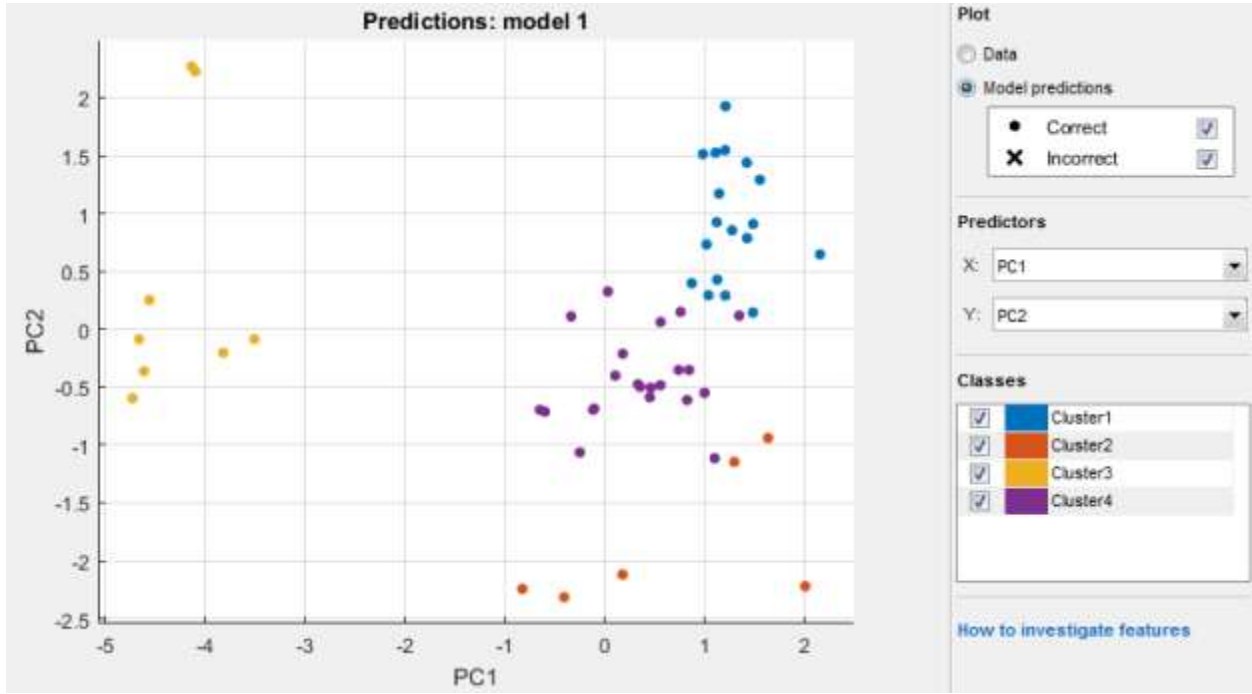
Bu iki işlemin sonucunda, Şekil 23'da görüldüğü gibi her turun hangi alt kümeye ait olduğu beşinci sütunda açıklanmıştır. '*Classification Learner*' uygulamasında girilen verilerin PC yönlerine göre dağılımını görüntüleme imkânı vardır. Şekil 24 ve Şekil 25 ile gözlemlerin PC1, PC2 ve PC3 yönlerine göre dağılımları gösterilmiştir. Alt kümelerin olduğu bölgeler, noktaların daha çok görüldüğü yerlerde ayırt edilmektedir. Ayrıca, PC1 ve PC2 yönleri, gözlemlerin en geniş varyanslı özelliklerini gösterdiklerinden, Şekil 25'de oluşan alt kümelerin konumları daha açık şekilde ayırt edilmektedir.

Veriler, üzerlerinde iki temel işlem yapıldıktan sonra, gözetimli öğrenme işleminde kullanılabilir hale gelmiştir. Bu veriler, yeni verileri gruplandırmak için öngörüler üreten bir modeli oluşturmada kullanılmıştır. '*Classification Learner*' uygulaması ile yapılan işlemlerin sonucunda bu uygulama eğitilmiş modelin MATLAB kodunu oluşturmuştur. Bu uygulamada çeşitli sınıflandırıcı teknikler kullanılmaktadır. Şekil 26'da çalışmada kullanılan eğitilmiş modelin özellikleri gösterilmiştir. 'Fine KNN' kümeleme yöntemi kullanılarak eğitilen modelin 100% kesinlikle çalışacağı görülmektedir. Ayrıca, PCA yönteminde kullanılan PC yönlerinin dördünün de gözlem özelliklerini oluşturmak adına gerekli olduğu görülmüştür.

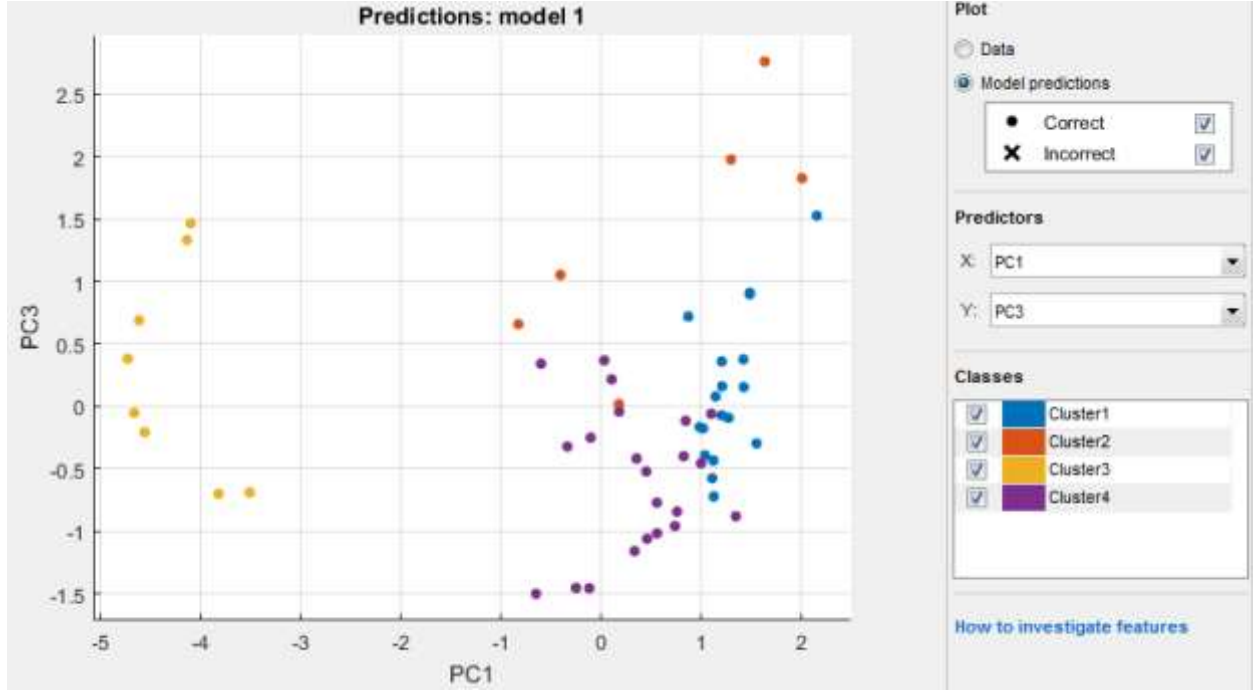
Yukarıda anlatılan modelin eğitilme amacı, çevrimiçi çalışmalarda öngörülerde kullanmaktır. Araç sürüşünde toplanan veri setinden, Şekil 14 ile anlatılan 7 özellik hesaplanmıştır. PCA analizi ile PC1, PC2, PC3 ve PC4 ana bileşenleri hesaplandıktan sonra bu ana bileşenler '*Classification Learner*' kodu ile işlenmiştir. Eğitilmiş modelin hesaplamalarına göre, gözlemin hangi alt kümeye yerleşeceği ortaya çıkacaktır.

	1 PC1	2 PC2	3 PC3	4 PC4	5 names
1	-0.6022	-0.7127	0.3412	0.6540	Cluster4
2	1.2927	-1.1467	1.9759	0.0541	Cluster2
3	1.6299	-0.9398	2.7602	-0.3227	Cluster2
4	1.1994	1.5474	-0.0725	-1.1362	Cluster1
5	-4.5559	0.2516	-0.2081	-0.9794	Cluster3
6	0.4560	-0.5063	-1.0601	-0.6101	Cluster4
7	0.8403	-0.3529	-0.1162	-0.4456	Cluster4
8	1.4203	0.7868	0.1543	-0.0206	Cluster1
9	1.5476	1.2904	-0.2973	-0.2077	Cluster1
10	1.2042	1.9266	0.1597	0.3422	Cluster1

Şekil 23. Sürüş çevrimi verilerin kümelendiği görünümü



Şekil 24. Gözlemlerin PC1 ve PC2 yönlerine göre dağılımı



Şekil 25. Gözlemlerin PC1 ve PC3 yönlerine göre dağılımı

▼ Current model

Model number 1
 Status: Trained
 Accuracy: 100.0%
 Prediction speed: ~690 obs/sec
 Training Time: 0.97704 secs

Classifier
 Preset: Fine KNN
 Number of neighbors: 1
 Distance metric: Euclidean
 Distance weight: Equal
 Standardize data: true

Feature Selection
 All features used in the model, before PCA

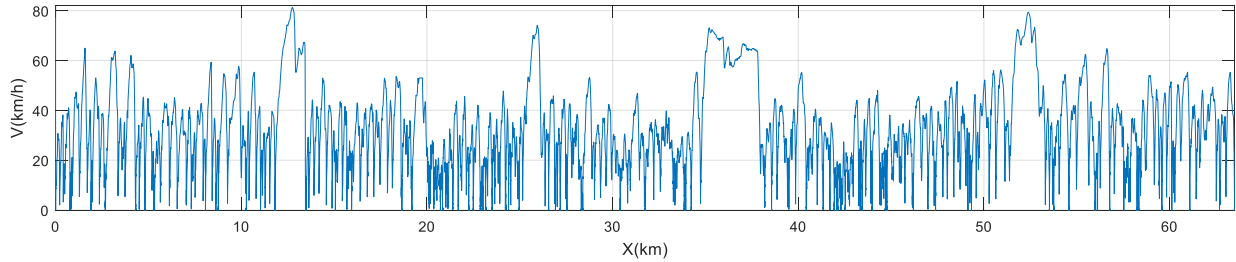
PCA
 PCA is keeping enough components to explain 95% variance.
 After training, 4 components were kept.
 Explained variance per component (in order): 57.9%, 17.8%, 12.6%, 11.7%

Şekil 26. Eğitilen modelin özellikleri

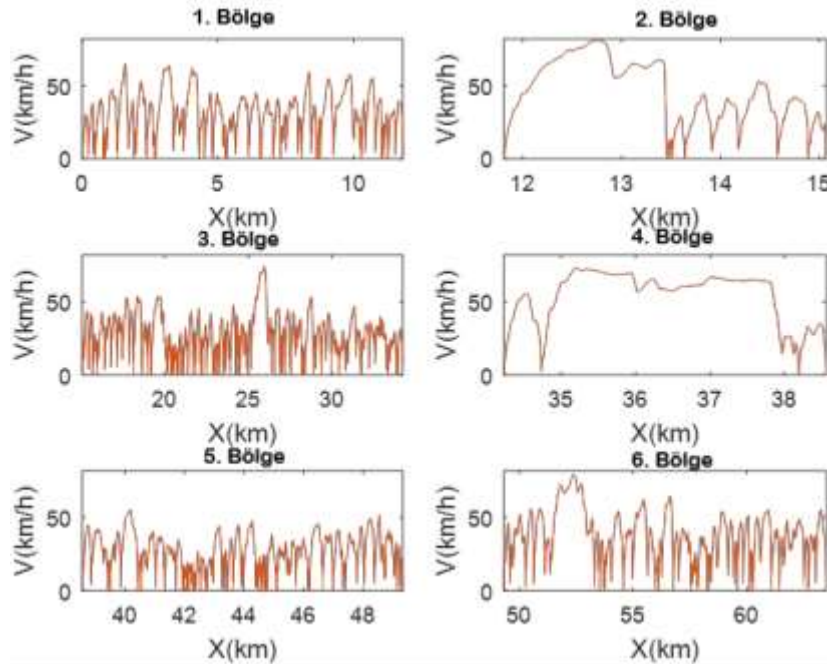
3.3.4.1 Eğitilen Modelin Denenmesi

Yukarıda anlatılan model eğitildikten sonra, çevrimiçi çalışmalarda öngörülerde kullanılabilirliğini ölçmek için bir deney yapılmıştır. Bu deneyde, 220 nolu otobüs hattında hareket eden MAN TÜRKİYE A.Ş. ile işbirliği yapılarak elde edilen deney sonuçları kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 4.4.2).

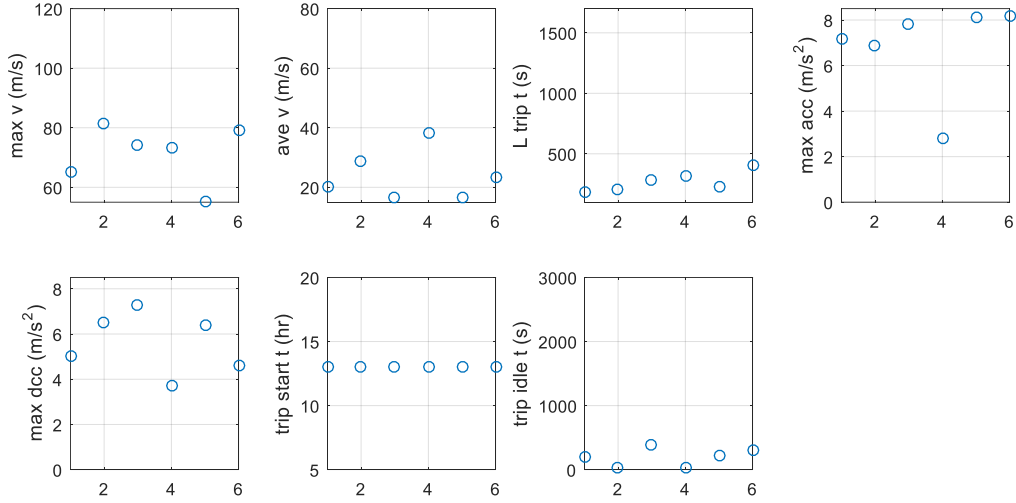
Aracın hız verileri kat edilen mesafeye göre Şekil 27 ile gösterilmektedir. Farklı sürüş çevrimlerini oluşturmak amacıyla, kat edilen mesafeye göre 6 farklı bölge trafik sıklığına göre görsel olarak seçilmiştir. Şekil 28 ile seçilen bölgelere göre hız verileri gösterilmektedir. Oluşmuş bölgelere göre Tablo 7 ile anlatılan 7 özellik hesaplanmış ve değerleri Şekil 29 ile gösterilmektedir. PCA analizi ile PC1, PC2, PC3 ve PC4 ana bileşenleri hesaplandıktan sonra bu ana bileşenlerin analizi 'Classification Learner' kodu ile yapılmıştır. Eğitilen modelin hesaplamalarına göre, her bir gözlemin hangi kümeye yerleştiği Tablo 9 ile verilmektedir.



Şekil 27. MAN otobüsünde toplanan hız verileri



Şekil 28. Bölünmüş bölgelerdeki hız verileri



Şekil 29. Bölgelerdeki sürüş çevrimi özellikleri

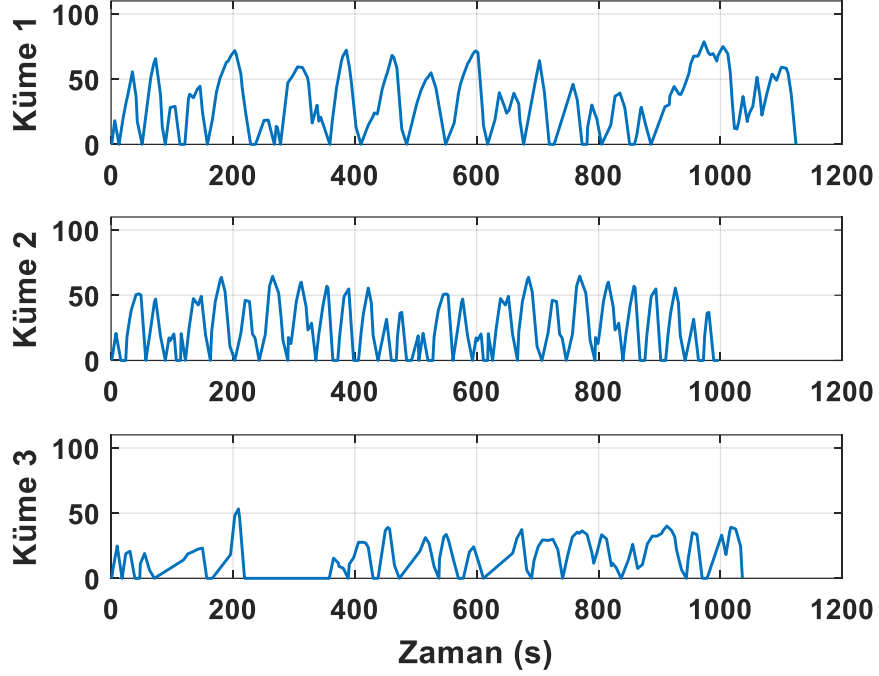
Tablo 9. Eğitilen modelin girdi ve çıktıları

	PC1	PC2	PC3	PC4	Öngörülen Küme
1.bölge	0.4236	-0.9360	0.9129	-0.5256	1
2.bölge	-0.6009	-0.8189	0.9129	1.6312	4
3.bölge	1.7560	0.6577	0.9129	0.5795	1
4.bölge	-3.1450	-0.1063	0.9129	-0.5264	4
5.bölge	1.5860	-0.9724	0.9129	-0.9300	1
6.bölge	-0.0196	2.1759	0.9129	-0.2287	1

Üstteki analiz MAN Türkiye AŞ ile elde edilen veri setinin çoğunlukla küme 1'e yakınsadığını göstermektedir. Aracın daha hızlı gittiği bölgelerde ise küme 4 yakınsadığı tespit edilmiştir.

3.3.4.2 Standart Kümelerin Oluşturulması

Şekil 19-Şekil 22 arasında birbirine benzerlikleri PCA analizi ile tespit edilmiş turların alt alta gösterimi verilmişti. Bu esnada katedilen mesafeye dikkate alınmamış ve kümelerin farklı uzunlukta olmasına izin verilmişti. Ancak Bölüm 4 de tariflenecek olacak adaptif EEMY yönteminin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için süre olarak standartlaştırılmış sürüş çevrimlerine ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla, şehiriçi sürüş çevrimleri olan Küme 1, Küme 2 ve Küme 3 içerisinden 1000 sn lik numuneler seçilmiştir (Bkz. Şekil 30)



Şekil 30. Standartlaştırılmış kümeler

Örnek olarak seçilmiş bu 3 farklı hız profili için Tablo 10'da bulunan temel bileşen değerleri saptanmıştır. Eğitilen modelin hesaplamalarına göre, gözlemin hangi ana kümeye yerleştiği incelenmiş ve her bir standart kümenin seçildiği ana kümeye ait olduğu valide edilmiştir. Dolayısıyla, seçilen numunelerin uygunluğu teyit edilmiştir.

Tablo 10. Standart kümelerin temel bileşenler analizi

	PC1	PC2	PC3	PC4	Öngörülen kümeler
Standart Küme 1	-0.0105	-0.8869	-0.0986	0.1399	Küme 1
Standart Küme 2	3.2727	-1.4175	0.3419	0.6178	Küme 2
Standart Küme 3	-0.6323	3.0240	1.1316	-0.3839	Küme 3

3.4 Sonuç

Bu bölümde, birinci aşamada, herhangi bir şehirdeki yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve motor güç gereksinimleri gibi tasarım parametrelerinin tahminini sağlayacak bir sürüş çevrimi oluşturma metodolojisi geliştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin pratik bir uygulaması Konya şehri için yapılmıştır. Konya sürüş çevrimi oluşturulurken, mikro-yolculuk elde etme tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Bununla beraber, gerçek trafik koşullarını yansıtması açısından sürüş verisinden elde edilen her bir mikro-yolculuk, hesaplanan yüzde ivmelenme, yüzde yavaşlama, yüzde rölanti, yüzde seyir ve ortalama hız değişkenleri kullanılarak kümeleme (clustering) algoritmalarıyla seçilen benzerlik ölçütüne göre oluşturulmuştur.

İkinci aşamada, araç takip sistemlerinden toplanan verilerin Ana Bileşenler Analizi (PCA) ve 'Classification Learner' yöntemleriyle sürüş çevrimlerinin sınıflandırılması yapılmıştır. PCA analizi sonucunda, her gözlem için tanımlanan 7 sürüş çevrimi özelliğinin %90.77'si ilk 4 bileşen tarafından kapsadığı görülmüş ve k-means clustering/kümeleme yöntemiyle gözlemler (sürüş çevrimi) 4 alt kümede toplanmıştır. Elde edilen kümeler, Ankara 220 hattı sürüş çevrimine ait trafik koşullarını yansıtmaktadır. Böylelikle, o bölgeye ait herhangi bir zamanda toplanan verilerin sürüş çevrimi özellikleri çıkartılarak hangi kümeye ait olduğu bulunabilmektedir.

Bu bağlamda, önerilen yöntem, mevcut trafik yoğunluk bilgisinin hesaplanmasında kullanılması ve enerji yönetim sistemi parametrelerinin yoğunluk bilgisine göre uyarlanmasını sağlama potansiyeline sahiptir. İlerleyen bölümde, sürüş çevrimlerinde oluşturulacak genel hibrit araç benzetimi anlatılmıştır.

BÖLÜM 4. HİBRİT ARAÇ BENZETİMİ

4.1 Giriş

Bu proje esnasında yapılan benzetim çalışmalarında ve deneyler esnasında, ayırık akstan hibrit araç yapılanması kullanılmıştır (Bkz. Şekil 31). Söz konusu güç dizininin matematiksel modelini oluşturmak için Matlab/Simulink ortamı kullanılmıştır.

Benzetim ortamının temel hedefleri:

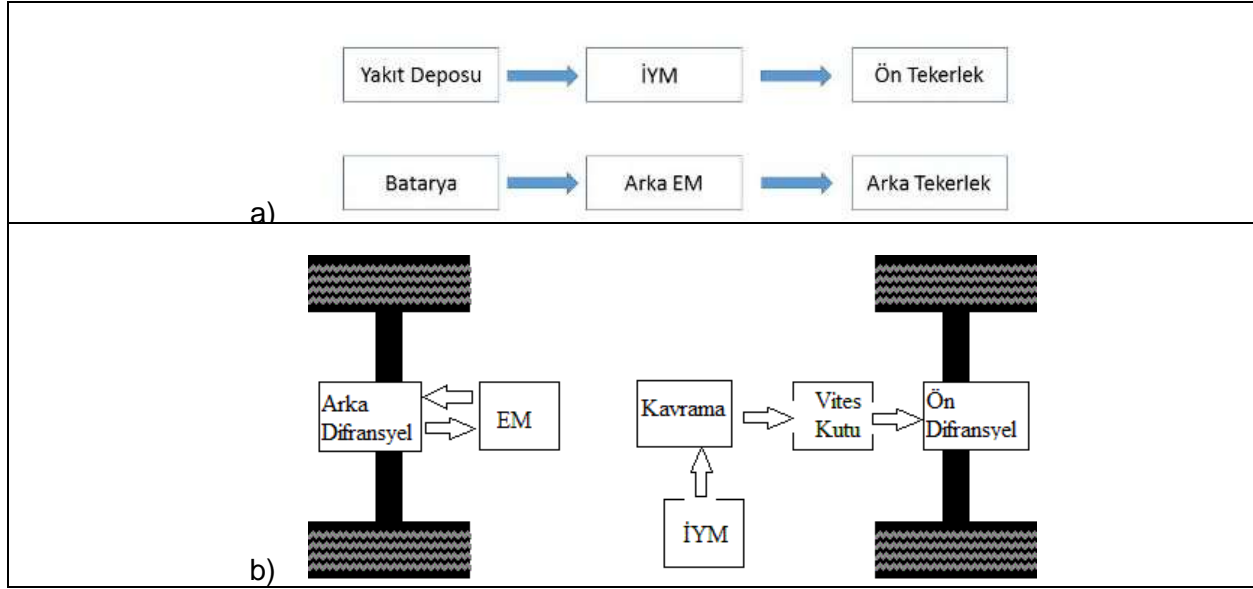
1. Tersine modelleme felsefesini uygulanmasını mümkün kılan bir yapı oluşturmak;
2. Temel boyuna taşıt dinamiği denklemlerinin uygulanmasına olanak sağlamak, başka bir deyişle, tüm olası direnç kuvvetlerini ve taşıt/ güç aksamı bileşenlerinin parametrik olarak modellenmesini sağlamak:
 - Farklı sürüş çevrimlerinin uygulanmasına imkan tanımak;
 - Motorların anlık torkunu, gücünü, verim haritasındaki çalışma noktasını tespit etmek;
 - Bataryanın anlık doluluk oranını tespit etmek;
3. Motorların başlangıç boyutlandırmalarının ve algoritma parametrelerinin optimize edilmesini sağlamak:
 - Motorların çalışma noktalarının ve batarya doluluk oranının seyrini gözlemleyerek tasarlanan algoritmaların parametrelerini optimize etmek;
 - Motorların ve bataryanın başlangıç boyutlandırmalarının uygunluklarını sürüş çevriminin gerektirdiği güç akışının araç tarafından sağlanıp sağlanmadığına göre tespit etmek.
4. Sürüş çevriminin gerektirdiği hız/güç değerlerini sağlarken toplam enerji verimliliğini maksimize eden bir vites geçiş algoritmasının uygulanmasına olanak vermek
5. Rejeneratif ve bileşik frenleme uygulamalarına olanak vermek

şeklinde sayılabilir. 1 nolu maddede bahsi geçen tersine modelleme felsefesi kapsamında benzetimin başlangıç noktası sürüş çevriminin gerektirdiği hız profilidir. Bu noktadan hareketle diğer bileşenlerden talep edilen enerji/güç akışları, batarya doluluğu tespit edilmektedir. Tersine modelleme, hibrit araç algoritmalarının optimizasyonu kapsamlı çalışmalarda bilimsel literatürde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir

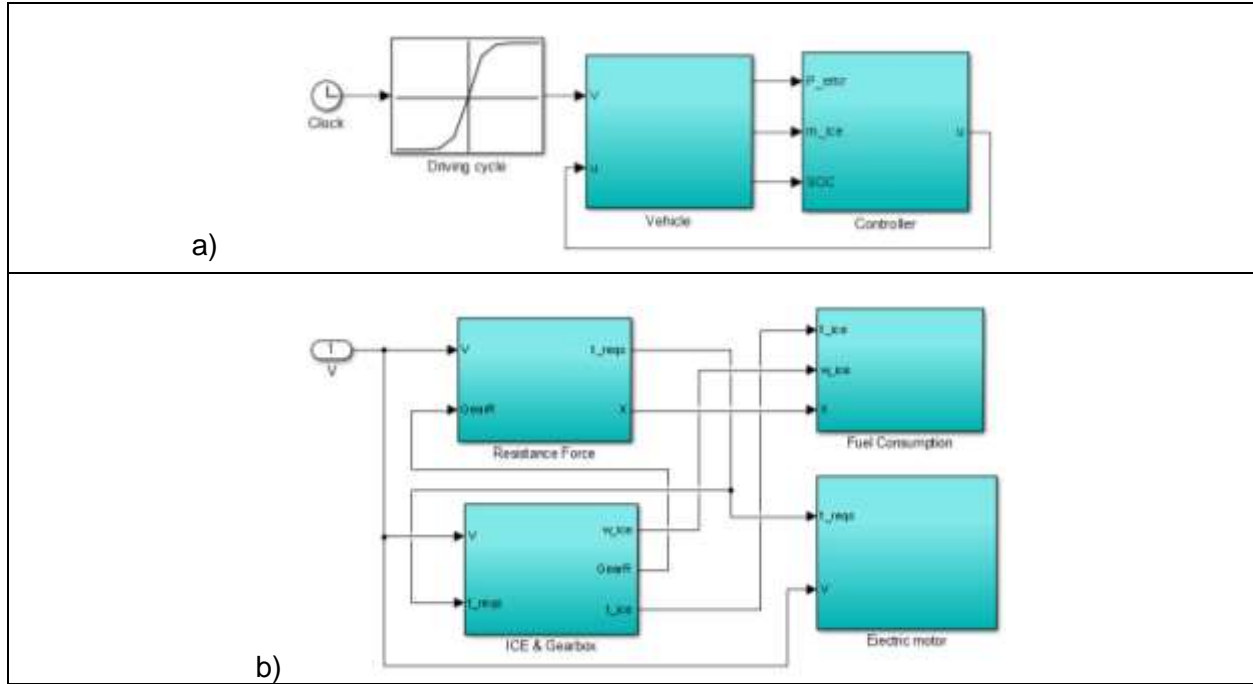
4.2 Araç Mimarisi

Araç modelini oluşturmak için Şekil 31 ile gösterilen mimari kurulmuştur. Şekil 32a) ile tersine hibrit kontrol uygulaması gösterilmektedir. Sürüş çevrimi boyunca, hibrit enerji algoritmaları, bir sonraki adım için uygun güç dağıtımına karar vermektedir. Şekil 32b) de görüldüğü gibi sürüş çevriminden gelen hız profili, yol dirençleri, içten yanmalı motor ve elektrik motor modellerine girdi

olarak verilmekte ve aracı istenilen hızda tutmak için gereken yakıt/elektrik enerjisi miktarları hesaplanmaktadır.

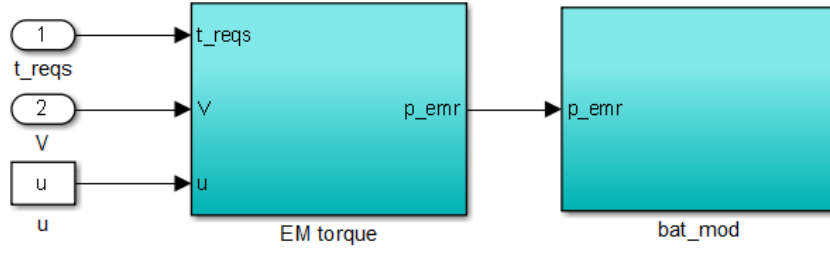


Şekil 31. Araç mimarisi a) Enerji akışı blok diyagramı b) Araç yapısı



Şekil 32. Benzetimde kullanılan blok diyagram a) Tersine hibrit kontrol uygulaması b) Araç dinamiği/ İYM akış şeması

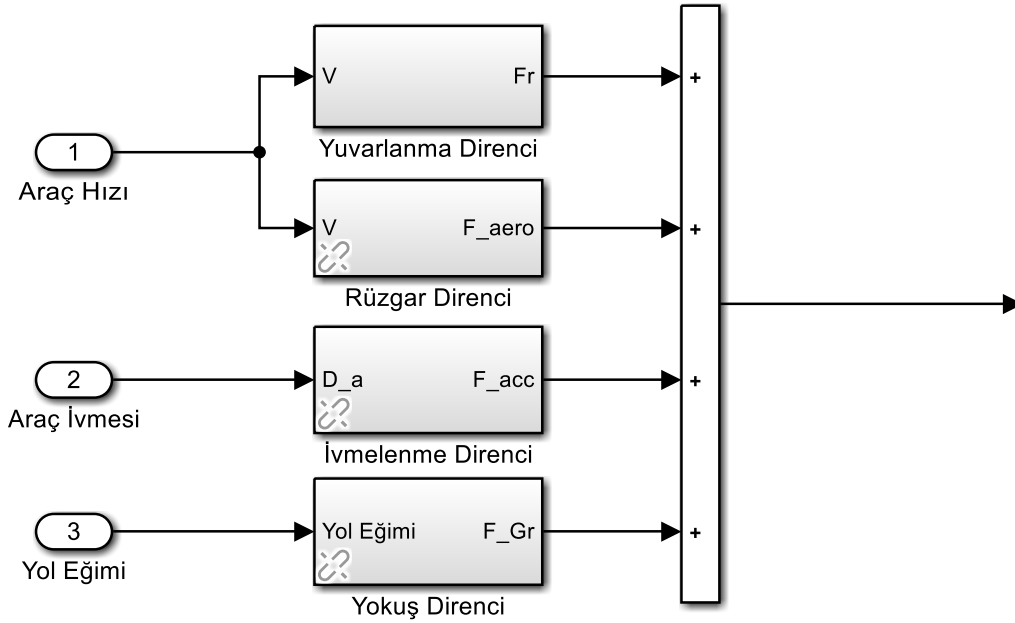
Şekil 33'te ise hız ve tork isteklerine göre elektrik motorunun batarya modelinden talep ettiği güç akışı modellenmektedir. Böylece batarya doluluk oranı hesaplanmaktadır.



Şekil 33. Elektrik güç grubuna ait akış şeması

4.3 Yol Dirençleri

Benzetim çalışmasında, girdi olarak ihtiyaç duyulan parametre, sürüş çevrimidir. Hibrit otobüs benzetimlerinde genellikle, Bölüm 3.3'te bahsi geçen Ankara şehir içinde işletilen 220 nolu belediye otobüsüne ait sürüş çevrimleri kullanılmıştır. Sürüş çevrimleri 'mat' dosyası formatında araç modeline girdi olarak verilmektedir. Bu girdi zaman ve hız değerlerini içerir. Şekil 34 ile yol dirençlerini hesaplayan benzetim modülü gösterilmiştir.



Şekil 34. Yol dirençlerinin benzetim ortamında hesaplanması

4.3.1 Yuvarlanma Direnci

Yapılan çalışmalarda, yuvarlanma direncinin hesaplanabilmesi için SAE J2452 standardında kullanılan formülasyondan yararlanılmıştır (SAE, 2017). SAE J2452, lastiklerin yuvarlanma direncini ölçmek için Otomotiv Mühendisleri Derneği¹⁴ tarafından tanımlanan bir standarttır. Buna göre, her bir tekerlekte gerçekleşen yuvarlanma direnci aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir (Boyalı ve Güvenç, 2010).

$$F_r = P^\alpha W^\beta (a + bV + cV^2) \quad (11)$$

Yukarıdaki denklemde, P , tekerlek basıncı [kPa], W , tekerlekler üzerindeki yük [N], V , araç hızını [m/s] temsil etmektedir. a , b , c , α ve β deneysel yöntemler ile elde edilmiş katsayılardır.

4.3.2 Rüzgâr ve Yokuş Direnci

Rüzgâr direnci hesaplamalarında bağıl rüzgâr hızı kullanılmaktadır. Rüzgâr direnci Denklem 12 ile ifade edilmektedir. Yokuş direnci ise Denklem 13 ile ifade edilmektedir.

$$F_a = \frac{1}{2} A \rho C_D V_{rel}^2 \quad (12)$$

$$F_g = mg \sin \theta \quad (13)$$

Yukarıdaki denklemlerde, F_a , rüzgâr direncini [N], A , araç ön cephe alanını [m²], ρ , hava yoğunluğunu [kg/m³], C_D , aerodinamik direnç katsayısını, v_{rel} , rüzgâr bağıl hızını [m/s], m , araç kütleini, θ , yol eğim açısını temsil etmektedir.

4.3.3 Boyuna Dinamik

Araç hız ve ivme değerleri Newton'un ikinci yasasına göre hesaplanmaktadır. F_{xf} ve F_{xr} araca etkiyen toplam çekiş ya da fren kuvvetleri olmak üzere, aracın boyuna ivmesi a_x aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$F_{net} = \gamma m a_x = F_{xf} + F_{xr} - F_a - F_r - F_g \quad (14)$$

Toplam araç kütle dönen kütle faktörü γ ile çarpılmaktadır (Boyalı ve Güvenç, 2010). Dönen kütle faktörünün hesaplanmasında, motor, vites kutusu, diferansiyel atalet momentleri ve çevrim oranları kullanılmaktadır.

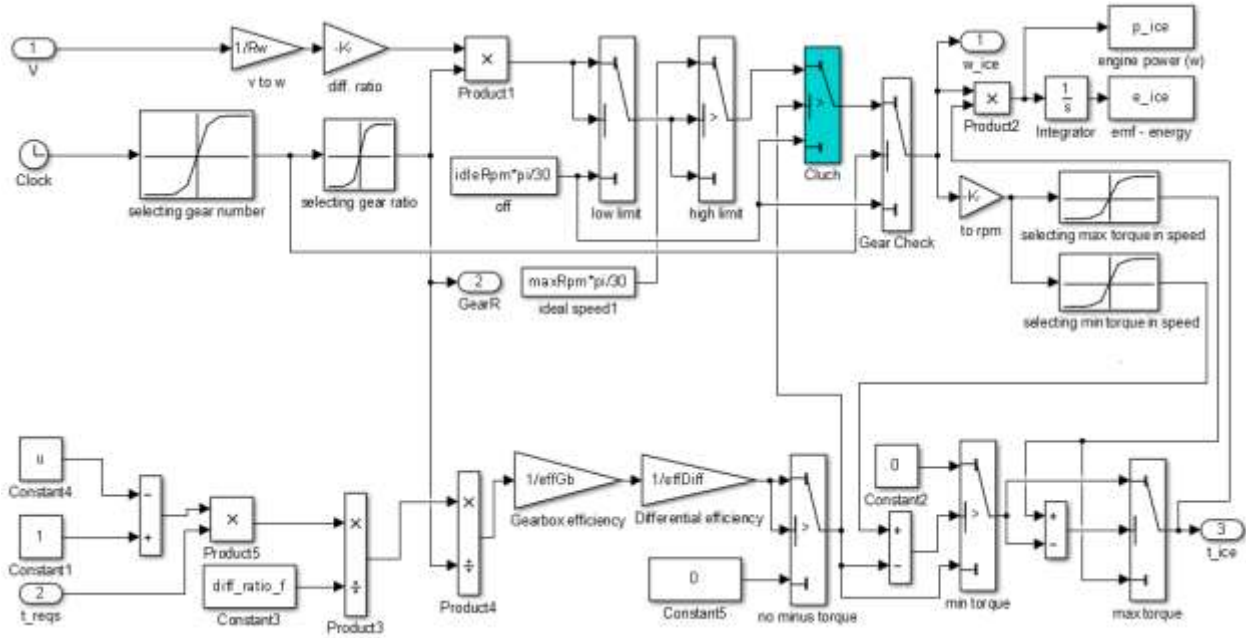
¹⁴ Society of Automotive Engineers

4.4 İçten Yanmalı Motor Modeli

İçten Yanmalı Motor modeli (Bkz. Şekil 35) için yakıt tüketimi ve tork üretimi haritalarının kullanılması ile birlikte aşağıdaki kabuller yapılmaktadır (Boyalı ve Güvenç, 2010):

- Silindirlere arası ve çevrimler arası farklar ihmal edilmektedir,
- Motor sürekli rejim sıcaklığındaır,
- Motorda dinamik rejimler göz ardı edilmiştir.

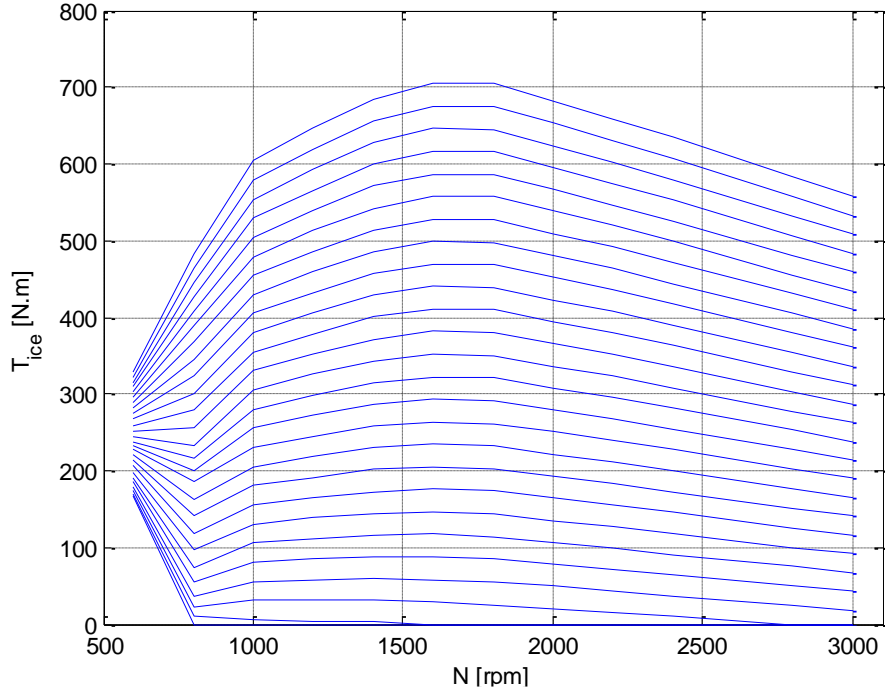
Şekil 35'in üst kısmında görüldüğü gibi sürüş çevriminden istenilen hız değerinin İYM'deki devir karşılığı, diferansiyel ve vites kutusu oranlarıyla çarpılarak elde edilmektedir. Hesaplanan devir sayısının ham değeri, İYM'nin üretebileceği alt ve üst devir değerlerini göz önüne alarak kısıtlanır. Bir sonraki adımda, İYM'de üretilen tork değerine ve vites değerine bakarak, tork üretimi istenilmeyen durumlarda, motorun rölanti devirde çalışmasına karar verilir. Şekil 35'in alt kısmında görüldüğü gibi sürüş çevriminde istenilen tork değerinin İYM'deki karşılığı, diferansiyel ve vites kutusu oranlarına bölerek ve kontrolcünden gelen tork paylaşım değerine çarpılarak elde edilmektedir. İkinci adımda, diferansiyel ve vites kutusundaki kayıplar hesaplanmaktadır. Son olarak, her devirde, İYM'nin üretebileceği torkun alt ve üst değerleri haritadan çekilir ve hesaplanan torkun ham değerinin kısıtlayıcıları olarak uygulanır.



Şekil 35. İçten yanmalı motor modeli blok diyagramı

4.4.1 İYM Tork-Devir Haritası

Örnek bir İYM motor benzetiminde kullanılan tork-devir haritası Şekil 36 ile verilmektedir. İYM, 600-3000 rpm aralıklarda çalışırken, farklı kelebek açılarında üretebileceği tork değerleri Şekil 36 de gösterilmektedir.



Şekil 36. İçten yanmalı motorun farklı kelebek açılarındaki tork-devir haritası

4.4.2 MAN TÜRKİYE A.Ş'ye Ait Enstrümante Otobüs ile Veri Toplama Testlerinin Değerlendirilmesi ve İYM Haritasının Oluşturulması

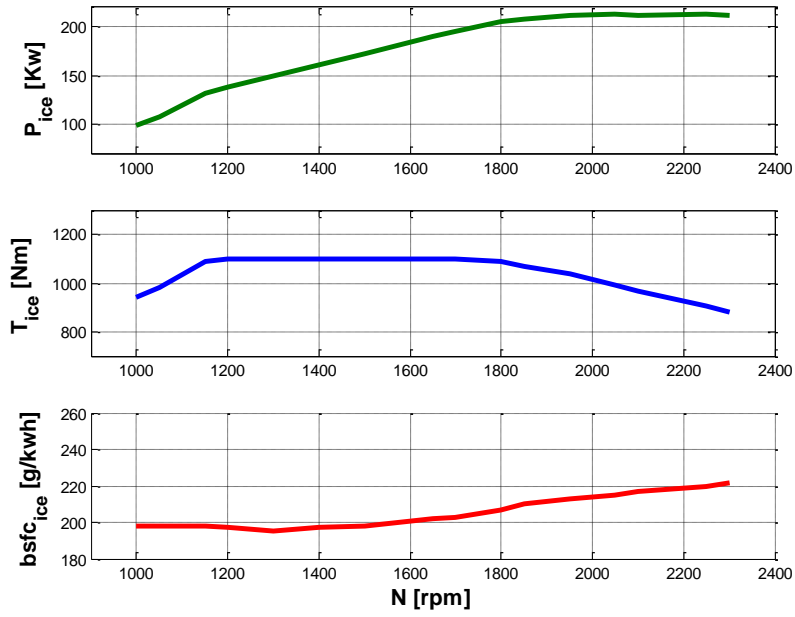
Yakıt tüketim haritasını oluşturmak için proje kapsamında özgün bir yöntem kullanılmıştır. Araç takip sistemi verileri kullanılarak, anlık tork, devir ve yakıt tüketimi verileri matrislerde kaydedilmiştir. Böylelikle şasi dinamometresi testi gibi maliyetli testlere ihtiyaç duyulmadan sadece yoldan veri toplayarak test taşıtının yakıt tüketim haritalarının yaklaşık modelleri elde edilmiştir.

4.4.2.1 Verilerin Toplanması

Çalışmalar kapsamında, MAN TÜRKİYE A.Ş tarafından sağlanan, şehir içi yolcu otobüslerine muadil, bir test otobüsü kullanılmıştır. Kullanılan otobüs modeli ve ilgili performans ve yakıt eğrileri Şekil 37 ve Şekil 38 ile verilmektedir.



Şekil 37. Temin edilen test aracı



Şekil 38. Otobüs modeline ait performans ve yakıt eğrisi. Not: Yakıt eğrisi, sadece kelebek tam açık pozisyonu için geçerli olan katalog verisidir

Temin edilen araç ile Ankara şehri içinde işletilen 220 nolu belediye otobüsüne ait güzergâh boyunca veri toplanmıştır. İzlenen güzergâha ait bilgiler Bölüm 3 ve Bölüm 5 ile anlatılmaktadır. Ölçümlerin gerçekleştirilmesi ve kaydedilmesi için gerekli ekipman Şekil 39, Şekil 40 ve Şekil 41 ile gösterilmektedir.

a)



b)



Şekil 39. Veri toplama ünitesi a) Dewesoft Sirius veri toplama ünitesi b) Veri toplama yazılımı

Şekil 39 ile aracın haberleşme hattına bağlanılarak motor devri, vites, yakıt değeri, tork vb. verilerinin elde edilmesini sağlayan Dewesoft Sirius 8x STGM+ veri toplama ünitesi gösterilmektedir. Toplanan veri formatı Tablo 11 ile gösterilmektedir.

Tablo 11. Veri toplama formatı

Time	Fuel Rate	act_eng_torque	engine_speed	current_gear	Yakıt Tüketim - L	Long.	Lat.	Velocity	Z
10486,33	20,3	43	1999	1	27,3	1963,4532	2397,16	5,44488	849,9
10486,34	20,3	43	2002,5	1	27,3	1963,4532	2397,16	5,44488	849,9

a)



b)



Şekil 40. Veri toplama ünitesi a) GPS b) Ataletsel ölçüm ünitesi

Şekil 40 ile yükselti, enlem, boylam, araç hızı, üç yönde ivme gibi verilerin ölçülmesi için kullanılan donanımlar gösterilmektedir. İvmeölçer olarak AT/14 Tri-axial Piezo Electric Accelerometer kullanılmıştır. GPS modeli olarak ise GlobalSat BU-353S4 kullanılmıştır.



Şekil 41. Test ekibi: Hacettepe Üniversitesi ve MAN TÜRKİYE AŞ

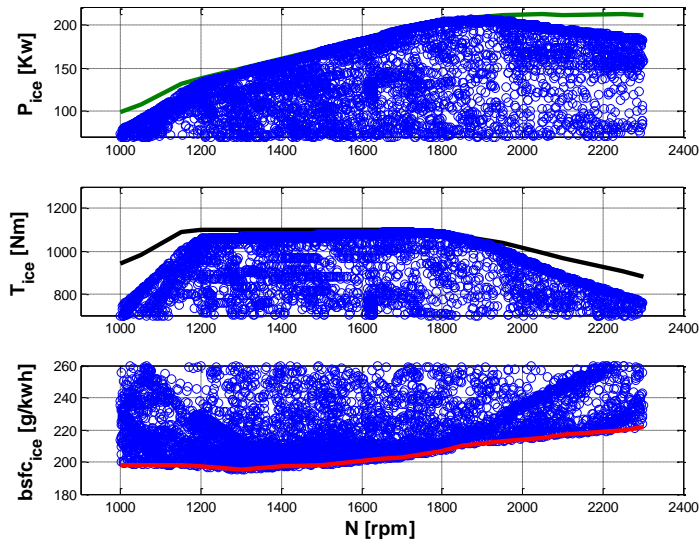
Veri toplama süreci Hacettepe Üniversitesi Proje araştırma ekibi ve MAN TÜRKİYE mühendisleri tarafından gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 41).

Tablo 11 ile gösterilen verilerin açıklaması aşağıda verilmiştir:

- time: kayıt zamanı;
- fuelRate: saatlik yakıt miktarı;
- act_eng_t: çekiş tork yüzdesi;
- engine_speed: motor devri;
- current_gear: Aracın kaçınıcı viteste olduğu;
- Yakıt Tüketim: Toplam tüketilen yakıt miktarı;
- Long.: Boylam;
- Lat.: Enlem;
- Velocity: Araç hızı;
- Z: Yükselti.

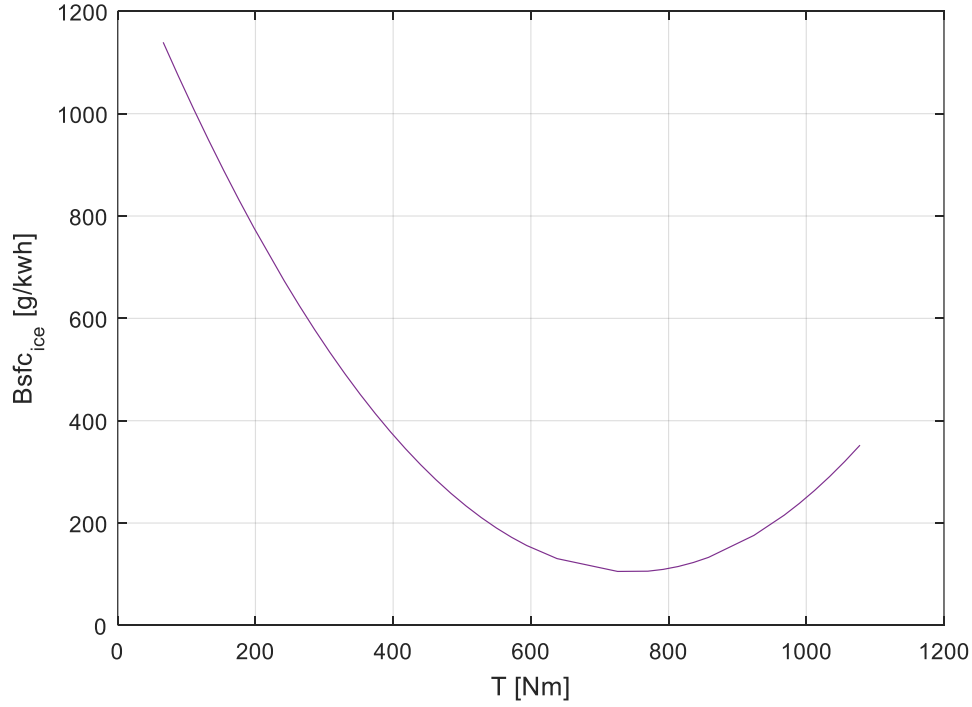
4.4.2 Yakıt Tüketim Haritasını Elde Etme Amaçlı Verilerin İşlenmesi

Toplanan verilerde ölçülen performans ve yakıt değerleri Şekil 42 ile gösterilmektedir.



Şekil 42. 220 nolu otobüs güzergahına ait toplanan tork, güç ve yakıt değerleri

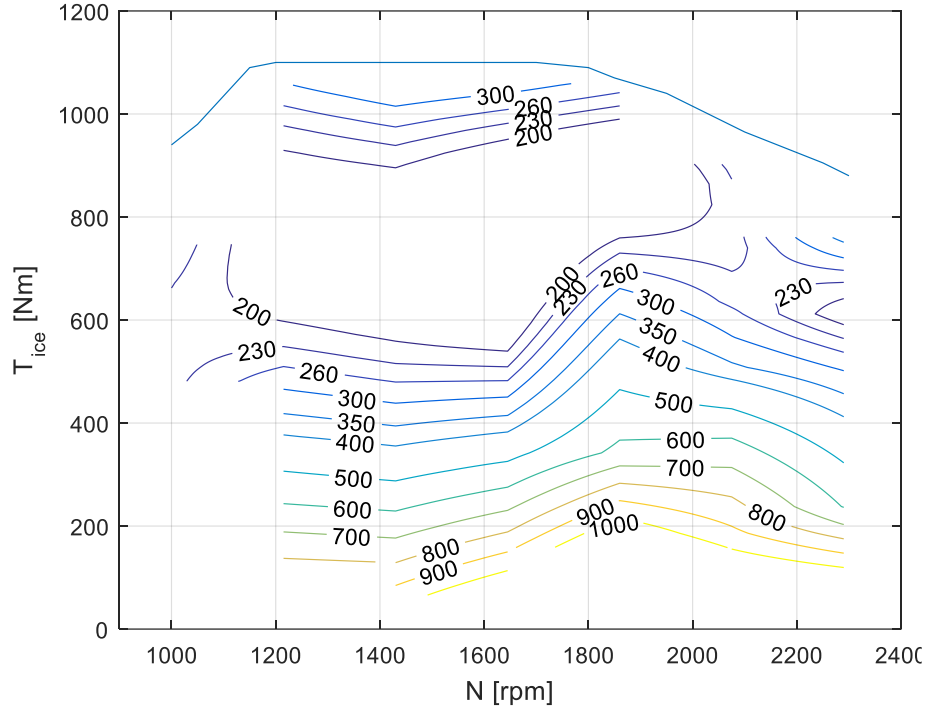
Özgül yakıt tüketimi çizgilerini elde etmek için test verileri öncelikle birtakım matrisler içinde toplanmıştır. Bu matrislerin satır ve sütunlarında artan tork ve devir sayısına göre yakıt tüketimi ve İYM'nin ürettiği güç miktarları yerleştirilmiştir. Matrisleri oluşturmak için tork-devir kümesinde veri elemesi yapılmıştır: sürücünün gaz pedalına basmadığı ve/veya yakıt tüketiminin 0 olduğu veriler elenmiştir. Devir sayısı 10 rpm adımlarla ve tork değeri 2 N.m adımlarla oluşturulmuştur. Bu yöntemde, belli bir rpm için, İYM'nin sürüş esnasında ürettiği tork değerleri kayıt edilmektedir. Bu değerler için yakıt tüketim ve üretilen güç değeri belli olduğundan, spesifik yakıt tüketimi (SFC¹⁵) değerinin hesaplanması mümkündür. Öte yandan, İYM'nin dinamometre testlerine benzer bir şekilde, düzgün aralıklı rpm değerleri için tork değerlerini gözleme ihtimali bulunmamaktadır. Bu sebeple, farklı noktalarda ölçülen değerler arasında enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır ve düzgün aralıklı rpm değerlerine denk gelen veriler elde edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 43 ile yöntemin bir sonucu olarak elde edilen, sabit bir motor devrinde çizilen SFC değerleri, tork değerinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir.



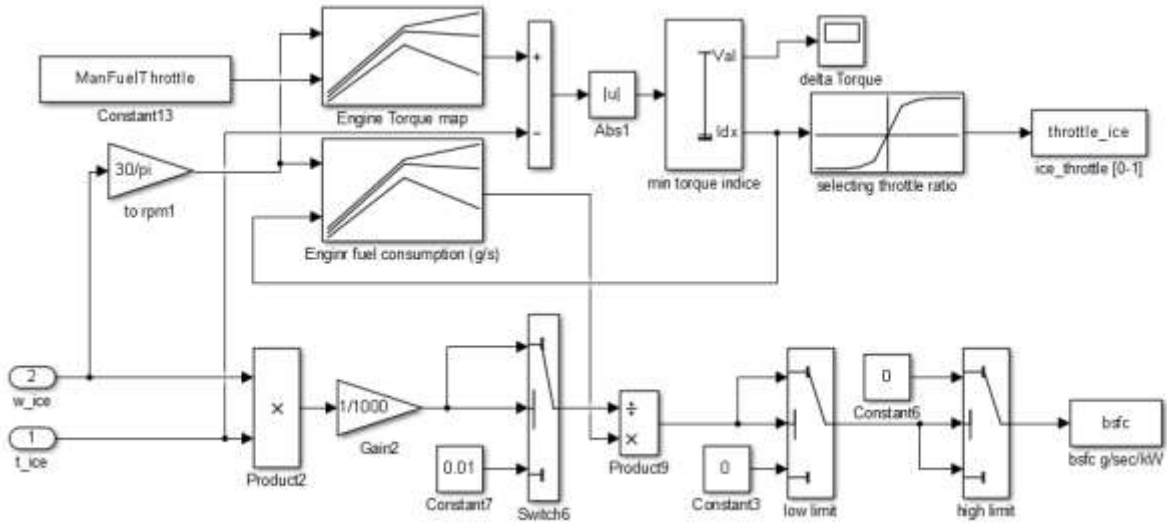
Şekil 43. Sabit motor devrine karşılık gelen spesifik yakıt tüketim değerleri

Toplanan veriler doğrultusunda üretilen yakıt tüketim haritası Şekil 44 ile gösterilmektedir. Elde edilen yakıt haritası kullanılarak İYM için yakıt tüketim modeli oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 45).

¹⁵ Specific Fuel Consumption



Şekil 44. Yakıt tüketim (Verim) haritası



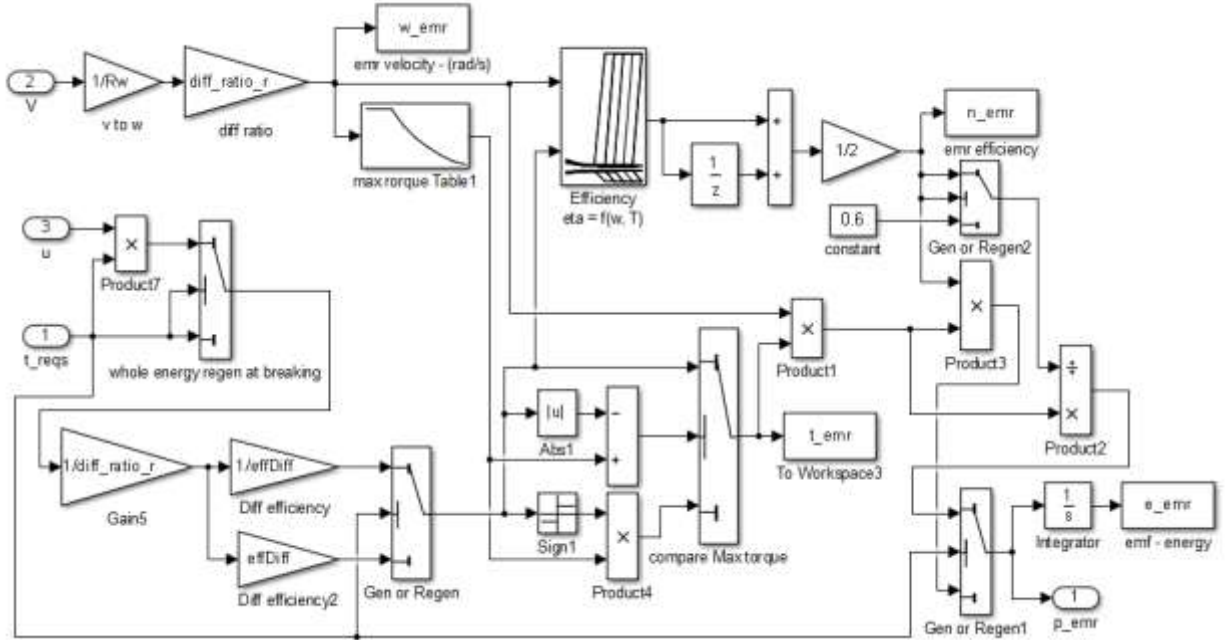
Şekil 45. İçten yanmalı motorun yakıt tüketim blok diyagramı

4.5 Elektrik Motor Modeli

Şekil 46 de projenin benzetim çalışmalarında kullanılan elektrik motor modeli gösterilmektedir. Modelde, sürüş çevirimi tarafından talep edilen hız değerinin EM'deki devir karşılığı, diferansiyel oranı kullanılarak elde edilmektedir. İstenilen tork değerinin EM'deki karşılığı, diferansiyel oranı ve kontrolcüden gelen tork paylaşım değerini göz önüne alarak hesaplanmaktadır. Elektrik motorunun mekanik ve elektrik güçlerinin iki yönde (çekiş ve rejeneratif frenleme) dönüşümüne kabiliyeti olduğundan dolayı, hesaplanan tork değerinin diferansiyel verimi ile çarpma veya bölme ihtimali öngörülmüştür.

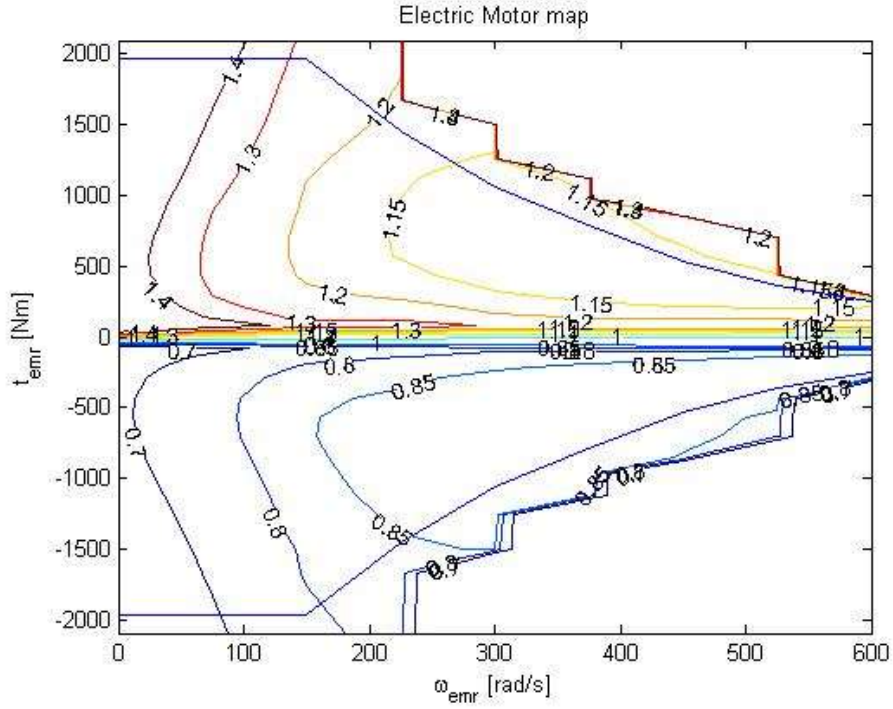
Şekil 46'deki elektrik motor modeli, birinci işleyiş modunda, içten yanmalı motor ile beraber araca çekiş sağlamak için devreye girmektedir. Elektrik motoruna düşen tork üretim payı, kontrolcü tarafından hesaplanan u değeriyle belirlenir (Bkz. Bölüm 5).

İkinci işleyiş modunda, yani İYM'nin fazladan güç ürettiği veya rejeneratif frenleme durumunda, motor jeneratör gibi çalıştırılır ve bataryayı şarj etmektedir.



Şekil 46. Elektrik motor modeli blok diyagramı

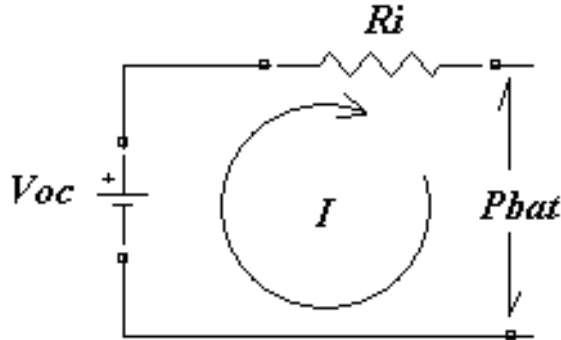
Elektrik motor benzetiminde, İYM benzetim yöntemindeki gibi motorun iç dinamiğini açıklayan dinamik denklemler yerine motor çıktılarına üretebilen bazı tablolar kullanılmıştır. Bu benzetimde iki haritadan yararlanılmıştır. Şekil 47 ile elektrik motorun şaft hızı ve torkuna bağlı olarak verim haritası gösterilmektedir.



Şekil 47. Motor şaft hızı ve torkuna bağlı olarak verim haritası

4.6 Batarya Modeli

Batarya modeli, en basit şekilde, batarya şarjı, batarya deşarjı, voltaj değişimi ve akım üretimini içerir. Benzetimde kullanılan batarya denklemleri, Şekil 48 ile verilen eşdeğer devre şeması kullanılarak elde edilmiştir (Boyalı, 2008).



Şekil 48. Eşdeğer devre diyagramı

Batarya iç direnci R_i , batarya şarj miktarı fonksiyonu olarak modelde tablolardan elde edilmektedir. Şarj ve deşarj sırasında, bataryadan çekilen veya batarya terminaline verilen akım büyüklüğü I , batarya açık devre voltajı V_{oc} ve iç direnç kullanılarak hesaplanmaktadır. Batarya iç gücü (P_s) ve batarya terminal gücü (P_{batt}) aşağıdaki denklemlerde verilmiştir:

$$P_s(t) = V_{oc}(SOC(t))I(t) \quad (15)$$

$$P_{batt}(t) = V_{oc}(SOC(t))I(t) - I(t)^2 R_i(SOC(t), sign(P_{batt})) \quad (16)$$

Yukarıdaki denklemlerde batarya doluluk oranı (SOC) bataryanın anlık şarjının $Q(t)$, batarya nominal kapasitesine Q_0 oranı olarak hesaplanmaktadır. Bu değer (0-1) arasında değişmektedir. Batarya doluluk oranı hesaplamalarında aşağıdaki tanımlar kullanılmaktadır:

$$SOC(t) = \frac{Q(t)}{Q_0} \quad (17)$$

$$\dot{Q}(t) = I(t) \quad (18)$$

$$\frac{dSOC(t)}{dt} = \frac{I(t)}{Q_0} \quad (19)$$

Şekil 48 ile anlatılan eşdeğer devre için şarj ve deşarj durumlarında Denklem 16 yazılırsa, aşağıdaki denklemler elde edilecektir:

$$R_i I(t)_{chg}^2 + V_{oc} I(t)_{chg} - P_{chg} = 0 \quad (20)$$

$$R_i I(t)_{dischg}^2 - V_{oc} I(t)_{dischg} + P_{dischg} = 0 \quad (21)$$

Şarj akımı, daima pozitif, deşarj akımı daima negatif olacağından, Denklem (16, 19) içerisinde yerine konulduğunda, akımlar aşağıda verilmiş denklemler yardımı ile elde edilmektedir.

$$I_{chg} = \frac{-V_{oc} + \sqrt{V_{oc}^2 + 4R_i P_{chg}(t)}}{2R_i} \quad (22)$$

$$I_{dis} = \frac{V_{oc} - \sqrt{V_{oc}^2 - 4R_i P_{dis}(t)}}{2R_i} \quad (23)$$

Bataryanın verimi, iç dirençler nedeniyle ortaya çıkan, batarya terminalindeki güç ve iç güç farklılığından dolayı tanımlanmıştır. Verim, batarya şarj seviyesi ve iç dirençlerin bir fonksiyonudur.

$$\eta_{batt}(t) = \frac{P_s(t)}{P_{batt}(t)} = \frac{V_{oc} I(t)}{V_{oc} I(t) + I(t)^2 R_i} \quad (24)$$

Şekil 49 ile batarya benzetimi gösterilmektedir. Benzetimin tek girdisi, elektrik motor modülünden gönderilen güç miktarıdır. İlk başta elektrik gücünün işaretine bakılarak, şarj ya da deşarj durumu tanımlanır ve buna göre iç direnç ve akım miktarı hesaplanır. İkinci adımda Denklem 17 kullanılarak ve başlangıç SOC değerini varsayarak, anlık SOC hesaplanır. Son olarak, akım ve gerilim verilerini kullanarak bataryanın gücü ve ürettiği/depoladığı enerji hesaplanır.

BÖLÜM 5. ŞEHİR İÇİ OTOBÜS SÜRÜŞ ÇEVİMLERİ İÇİN UYGULANAN HİBRİT ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMALARININ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Giriş

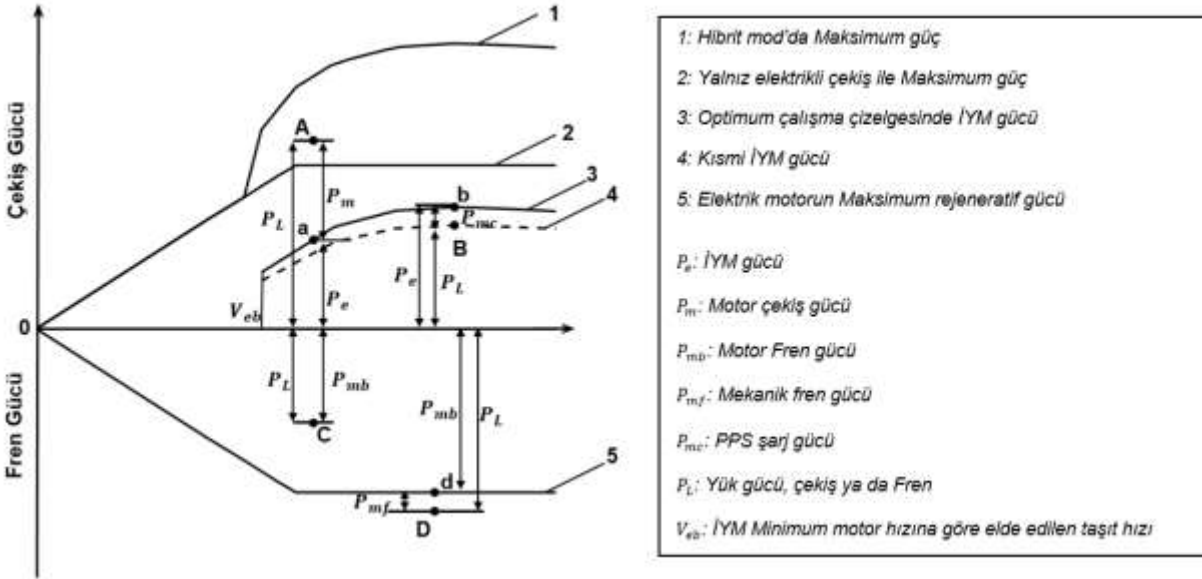
Hibrit araç uygulamalarında, yakıt ekonomisi veya emisyon değerlerinin azaltılmasına yönelik çeşitli enerji yönetimi stratejileri bulunmaktadır. Bu enerji yönetim sistemleri değerlendirildiğinde, kural tabanlı ve optimizasyon tabanlı stratejiler olmak üzere iki genel eğilim bulunmaktadır. Kural tabanlı enerji yönetim algoritmaları, nispeten düşük işlem yükleri sayesinde endüstride daha çok tercih edilmektedir, ancak performans parametreleri ve kontrol girdileri sezgisel yöntemlerle belirlendikleri için en uygun çözümü vermemektedirler. Öte yandan, optimizasyon tabanlı stratejiler sürüş çevrimi bilgisini kullanarak optimum çalışma stratejilerini belirleyebilmektedir. Optimizasyon tabanlı enerji yönetim algoritmalarının ilişki karmaşıklığı, matematik model oluşturma zorluğu ve ağır hesaplama yükleri nedeniyle uygulama zorlukları vardır. Bu bağlamda çalışma içerisinde, hibrit araç benzetiminde kural tabanlı enerji yönetim algoritması olarak Sınırlandırılmış Termostat ve Maksimum Batarya doluluk stratejisi, optimizasyon tabanlı enerji yönetim algoritması olarak ise Adaptif/ Adaptif olmayan Eşdeğer Enerji Minimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Otobüs model benzetiminde kullanılan sürüş çevrimi, Ankara şehrinde 220 numaralı hattaki otobüs üzerinden toplanmıştır ve farklı saatlerdeki trafik koşullarını barındırmaktadır (Bkz. Bölüm 3). Bununla beraber, yol eğimi ve anlık araç kütlesi hesaplamalara dâhil edilmiştir. Ayrıca, çevrimdışı optimal kontrol yöntemi olarak bilinen Dinamik Programlama (DP) algoritması, geliştirilmiş ve performansı genel sürüş çevrimi için koşturulmuştur.

Bu bilgiler ışığında, bu çalışmanın amacı, paralel hibrit otobüslerin, şehir içi taşımacılıkta uzun vadede ekonomik/çevreye duyarlı bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. Hibrit otobüslerin kullandıkları güç dizinleri ve kullandıkları sürüş çevrimlerine bağlı olarak dizel otobüslere göre %10 ila %50 arası yakıt tasarrufu sağlayabildikleri gösterilmiştir. Bu proje kapsamında, Ankara şehrinde 220 numaralı hat üzerinden oluşturulmuş sürüş çevrimlerine göre geliştirilen 'Sınırlandırılmış Termostat Kontrol', 'Maksimum Batarya Doluluk Kontrol' algoritmaları ve Adaptif/ Adaptif olmayan Eşdeğer Enerji Minimizasyon yöntemleri kullanılarak hibrit otobüsler için yakıt tasarrufu ve emisyon değerlerinin düşmesini sağlayacak detaylı bir çalışma yapılmıştır.

5.2 Maksimum Batarya Doluluk Stratejisi

Maksimum batarya doluluk kontrol stratejisinde ana hedef güç talebinin karşılanmasıyla beraber batarya doluluğunun olabildiğince yüksek seviyede olmasının sağlanmasıdır. İçten yanmalı motor birincil, batarya ikincil kaynaktır. Bataryanın yüksek doluluk oranı, sürücünün veya yolun istediği yüksek güç gereksinimlerinde araç performansını artırıcı olarak devreye girecektir. Bu tür stratejiler sürekli dur–kalk yapılan sürüş şekline oldukça uygundur. Maksimum batarya doluluk stratejisinde yalnız elektrik motoru itiş modu, hibrit itiş modu, maksimum güç kaynağı şarj modu, yalnız içten yanmalı motor itiş modu, yalnız rejeneratif fren modu ve hibrit fren modu olmak üzere altı farklı sürüş modu bulunmaktadır. Güç talebine göre hangi işletim modunun devreye gireceği Şekil 50 ile gösterilmektedir (Ehsani vd., 2010).



Şekil 50. Maksimum batarya doluluk kontrol stratejisinde güç talebine göre çeşitli işletim modları

İşletim modları izleyen kısımda açıklanmıştır.

5.2.1 Yalnız Elektrik Motoru İtiş Modu

Eğer aracın hızı önceden belirlenen V_{eb} (kalkış esnasında seçilen düşük bir hız değeri) hızından düşükse ya da içten yanmalı motorun verimsiz ya da yüksek emisyonlu bölgede çalışmasını gerektiriyorsa aracın hareketi için gerekli itiş kuvveti elektrik motoru tarafından sağlanır. Bu durumda maksimum güç kaynağının deşarjı (P_{pps-d}), P_e ve P_m aşağıdaki gibi olur (P_L , çekiş ya da fren durumundaki yük gücünü ifade etmektedir).

$$P_e = 0 \quad (25)$$

$$P_m = P_L \quad (26)$$

$$P_{pps-d} = \frac{P_m}{\eta_m} \quad (27)$$

η_m : Elektrik motorunun verimliliği

5.2.2 Hibrit İtiş Modu

Sürücünün ihtiyaç duyduğu güç Şekil 50 ile gösterilen A noktasında olduğu zaman içten yanmalı motor ve elektrik motoru birlikte çalışmalıdır. Bu durumda içten yanmalı motorun uygun çalışma çizgisindeki değerine gaz kelebeği kontrolü ile getirilir. Kalan güç elektrikli motordan sağlanır:

$$P_m = P_L - P_e \quad (28)$$

$$P_{pps} = \frac{P_m}{\eta_m} \quad (29)$$

5.2.3 Batarya Şarj Modu

Eğer istenilen çekiş gücü, içten yanmalı motorun en uygun çalışma eğrisinin altında ise ve batarya doluluk oranı maksimum seviyesinden düşükse (Şekil 50'de B noktası) bu durumda elektrik motoru jeneratör olarak çalışır ve içten yanmalı motorun en uygun çalışma eğrisi üzerinde ürettiği güç ile yolun istediği güç arasındaki fark bataryayı doldurmak için kullanılır:

$$P_m = (P_e - P_L)\eta_t\eta_e\eta_m \quad (30)$$

$$P_{pps-c} = P_m\eta_m \quad (31)$$

$\eta_{t,e,m}$: Sırasıyla aktarma verimliliği, İYM verimliliği ve elektrik motoru verimliliği

P_{pps-c} : Batarya şarj gücü

5.2.4 Yalnız İçten Yanmalı Motor İtiş Modu

İçten yanmalı motorun en uygun çalışma çizgisi ile elde edilecek güçten daha az bir tahrik gerektirdiği zaman ve aynı zamanda batarya da dolduğunda elektrik sistemi durdurularak tahrik yalnızca içten yanmalı motora bırakılır.

$$P_e = P_L \quad (32)$$

$$P_m = 0 \quad (33)$$

$$P_{pps} = 0 \quad (34)$$

5.2.5 Yalnız Rejeneratif Fren Modu

İhtiyaç duyulan fren gücü elektrik motorunun sağlayabileceği maksimum rejeneratif fren gücünden düşükse (Şekil 50'de C noktası) elektrik motoru jeneratör olarak görev yapar. Fren gücü bataryayı beslemek için kullanılır.

$$P_{mb} = P_L \eta_m \quad (35)$$

$$P_{pps-c} = P_{mb} \quad (36)$$

P_{mb} : Motor fren gücü

5.2.6 Hibrit Fren Modu

İhtiyaç duyulan fren gücü elektrik motorunun sağlayabileceği maksimum rejeneratif fren gücünden fazlaysa (Şekil 50'de D noktası) mekanik frene de ihtiyaç duyulur. Bu durumda elektrik motoru maksimum fren gücünü sağlayacak şekilde kontrol edilir. Kalan fren gücü ise mekanik fren aracılığıyla sağlanır. Elektrik motorunun fren gücü maksimum güç kaynağını beslemek için kullanılır.

$$P_{mb} = P_{mb,maks} \eta_m \quad (37)$$

$$P_{pps-c} = P_{mb} \quad (38)$$

$$P_{mf} = P_L - P_{mb} \quad (39)$$

$P_{mb,maks}$: Maksimum motor fren gücü

P_{mf} : Mekanik fren gücü

Benzetim ortamında, maksimum batarya doluluk stratejisi girdileri, güç isteği, batarya doluluk oranı ve araç hızı olarak tanımlanmaktadır. Güç isteği, kullanılan sürüş çevrimine göre yol dirençlerinin hesaplanmasıyla oluşmaktadır. Batarya doluluk oranı, Bölüm 4.6'da verilen batarya modeliyle hesaplanmaktadır. Araç hızı ise sürüş çevrimi üzerinden algoritmaya girdi olarak verilmektedir. Hibrit enerji yönetim algoritması çıktısı, elektrik motor ve içten yanmalı motor tarafında istenilen güç oranlarını ifade eden u fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle, u fonksiyonu elektrik ve içten yanmalı motorun kullanılma oranını belirlemektedir. Denklem 40'da $u(t)$ fonksiyonu tanımlanmaktadır. Anlık olarak hesaplanan her u değeri güç isteği ile tekrar işleme sokularak içten yanmalı ve elektrik motora ait istek güçler belirlenmektedir (Bkz. Denklem 41 ve 42).

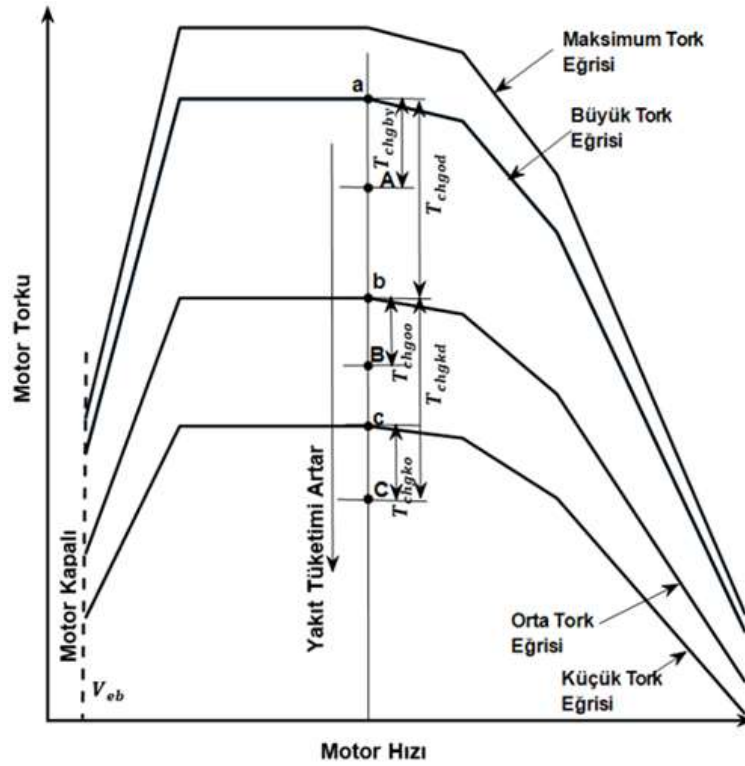
$$u(t) = \frac{P_{em}(t)}{P_{iym}(t) + P_{em}(t)} \quad (40)$$

$$P_{iym}(t) = P_{istek}(1 - u(t)) \quad (41)$$

$$P_{em}(t) = P_{istek}u(t) \quad (42)$$

5.3 Sınırlandırılmış Termostat Kontrol Stratejisi

Sınırlandırılmış termostat kontrol stratejisi, maksimum batarya doluluğu stratejisine benzer şekilde çalışmaktadır. Ancak düşük, orta ve büyük tork alanlarında komuta edilen çekiş tork değerleri, içten yanmalı motorun düşük, orta ve büyük tork alanlarına göre oluşturulmuş optimal verimlilik çizgisinin altında kalıyorsa bataryanın doluluk durumuna göre içten yanmalı motor, özel olarak belirlenen gaz kelebeği pozisyonlarına göre çalışmaktadır. Güç talebine göre hangi işletim modunun devreye gireceği Şekil 51 ve Tablo 12 ile anlatılmaktadır (Ehsani vd., 2010).



Şekil 51. Sınırlandırılmış termostat kontrol stratejisi gösterimi: İYM'nin çalışma bölgeleri

Tablo 12. Farklı komut çekiş torku ve batarya doluluğuna göre motor tork kontrol stratejisi şeması

		Batarya doluluk durumu		
		Düşük	Orta	Yüksek
Tork isteği, T_L	Küçük Alan (C noktası)	$T_e = T_b$ $T_{chgkd} = T_b - T_c$	$T_e = T_c$ $T_{chgko} = T_c - T_c$	$T_e = 0$ $T_{chgky} = 0$
	Orta Alan (B noktası)	$T_e = T_a$ $T_{chgod} = T_a - T_B$	$T_e = T_b$ $T_{chgoo} = T_b - T_B$	$T_e = T_B$ $T_{chgoy} = 0$
	Yüksek Alan (A noktası)	$T_e = T_a$ $T_{chgyd} = T_a - T_A$	$T_e = T_A$ $T_{chgyo} = 0$	$T_e = T_A$ $T_{chgyy} = 0$

T_A, T_B, T_C --- A, B ve C noktalarına göre, küçük, orta ve büyük tork alanlarında Komuta edilen çekiş tork değerleri
 T_a, T_b, T_c --- a, b ve c noktalarına göre, İYM kontrol edilerek üretilen tork değerleri
 T_{chgxx} --- Batarya şarj torku, $xx = bd$ --- büyük tork, düşük batarya doluluk durumu vb. T_e --- İYM torku

5.4 Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY)

EEMY algoritmasının mantığı, minimum yakıt tüketiminin (\dot{m}_{iym}) anlık olarak sağlanması halinde tüm yolculuk boyunca minimum yakıt tüketileceği varsayımına dayanmaktadır. Her optimal kontrol yönteminde tanımlandığı gibi, bu yöntemde de eşdeğer yakıt tüketimine dayanan bir anlık maliyet fonksiyonu bulunmaktadır ve Denklem 43 ile ifade edilmektedir.

$$\int \text{Min}[\dot{m}_{iym}(t)]dt \approx \text{Min} \int \dot{m}_{iym}(t)dt \quad (43)$$

EEMY yöntemi hem elektrik hem de termal hatların toplam enerji tüketimini azaltmaya çalışmaktadır. Eşdeğer yakıt tüketimine bağlı anlık maliyet fonksiyonu Denklem 44 ile ifade edilmektedir.

$$J_t = \dot{m}_{iym}(P_{iym}) + \zeta(P_{em}) \quad (44)$$

Kontrol girdisini hesaplamak için, her güç kaynağının optimum çalışma noktası maliyet fonksiyonunu en düşük seviyede tutacak şekilde hesaplanmaktadır. Yolun güç isteği, maliyet fonksiyonu en aza indirilirken, mutlaka karşılanması gereken bir şarttır.

$$\{P_{em}^{opt}(t), P_{iym}^{opt}(t)\} = \arg \min(J_t) \quad (45)$$

$$P_{istek}(t) = P_{iym}(t) + P_{em}(t) \quad (46)$$

Güç üretimi sırasında içten yanmalı motor devrinin motor çalışma aralığında olması, içten yanmalı motor torkunun pozitif ve maksimum İYM tork değerinden küçük olması, elektrik motor devrinin

tanımlanmış çalışma aralığında yer alması, elektrik motor torkunun motorun tanımlanmış çalışma aralığında olması (minimum kısıt elektrikli motor rejeneratif frenleme durumunda negatif olabilmektedir) optimizasyon problemi için aşağıdaki gibi tanımlanmış kısıtları oluşturmaktadır:

$$w_{iym,min} \leq w_{iym} \leq w_{iym,max} \quad (47)$$

$$0 \leq T_{iym}(t) \leq T_{iym,max}(t) \quad (48)$$

$$w_{em,min} \leq w_{em} \leq w_{em,max} \quad (49)$$

$$0 \leq T_{em}(t) \leq T_{em,max}(t) \quad (50)$$

Talep edilen güç ihtiyacının elektrik motoru ve İYM tarafından istenilen seviyede sağlanması $u(t)$ fonksiyonuyla kontrol edilmektedir. Hibrit sistemin çalışması sırasında, beklenen Batarya Doluluk Oranı (SOC), üst ve alt sınırları aşmamalıdır Bu esnada kontrol değişkeni $[-u_l, u_r]$ aralığında çalışmaktadır.

$$u(t) = \frac{P_{em}(t)}{P_{iym}(t) + P_{em}(t)} \quad (51)$$

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max} \quad (52)$$

Hibrit sistemin gücü yalnız İYM tarafından sağlandığında $u(t)$ değeri sıfırdır. Kontrol değişkeninin u_r sınırına yakınsadığı durumda güç üretimin bir kısmı elektrik motorun üzerine düşer ve batarya doluluk oranı düşmeye başlamaktadır. Ters durumda, kontrol değişkeninin u_l sınırına yakınsadığında üretilen gücün bir kısmı elektrik motoru aracılığıyla depolanmak için bataryaya gönderilir ve batarya doluluk oranı artmaya başlamaktadır.

Bataryanın işletilmesi için iki farklı eşdeğerlik faktörü tanımlanır: s_{dis} ve s_{chg} . Bu faktörler, bir sürüş çevrimin sonunda pozitif ve negatif (rejeneratif) elektrik ile enerjisinin kullanımına eşdeğerdir. Tüm çevrimde elektrik enerjisinin kullanılması negatif ise s_{chg} , ve pozitif ise s_{dis} katsayısı ile eşdeğer yakıt enerjisi hesaplanmaktadır. Adı geçen eşdeğerlik katsayılarını hesaplamak için, belli bir sürüş çevrimi boyunca, izin verilebilir sabit u değerleriyle, hibrit sistem çalıştırılmaktadır. Elektrik motorun eşdeğer yakıt tüketimi, motorun verimliliğine ve tükettiği güce, bataryanın verimliliğine ve eşdeğerlik faktörlerine bağlı olarak Denklem 53 ile ifade edilmektedir (Sciarretta vd., 2004).

$$\dot{m}_{elec,eqv} = \gamma s_{dis} \frac{P_{em}(t)}{\eta_{batt}(P_{em})\eta_{em}(P_{em})H_{lhv}} + (1 - \gamma) s_{chg} \eta_{batt}(P_{em})\eta_{em}(P_{em}) \frac{P_{em}(t)}{H_{lhv}} \quad (53)$$

$$\gamma = \frac{1 + \text{sgn}(P_{em})}{2} \quad (54)$$

H_{lhv} : Yakıt ısı değeri, η_{em} : Elektrik motor verimi, η_{batt} : Batarya verimi

Bataryadaki doluluk miktarının, çevrim başı ile sonunda aynı kalmasını sağlamak amacı ile aşağıdaki ceza fonksiyonu, optimizasyon denklemlerine eklenmektedir (Kural ve Güvenç, 2015).

$$\Omega(SOC) = \begin{cases} \left(1 + \left(\frac{SOC_f - SOC(t)}{SOC_f - SOC_{min}}\right)^{2n+1}\right), & SOC(t) < SOC_f \\ \left(1 - \left(\frac{SOC(t) - SOC_f}{SOC_{max} - SOC_f}\right)^{2m+1}\right), & SOC(t) \geq SOC_f \end{cases} \quad (55)$$

SOC_f :Final batarya doluluk oranı, SOC_{min} :Minimum batarya doluluk oranı, SOC_{max} : Maksimum batarya doluluk oranı

Maliyet fonksiyonu yukardaki parametrelere göre Denklem 56 ile ifade edilmektedir.

$$J_t = \dot{m}_{iym}(P_{iym}) + \Omega(SOC)\dot{m}_{elec,eqv}(P_{em}) \quad (56)$$

EEMY algoritmasını her zaman adımında, J_t değerini en düşük seviyede tutan uygun $u(t)$ değeri hesaplanmakta ve kontrol değeri olarak bir sonraki zaman adımına gönderilmektedir. Başka bir deyişle, aracın zaman adımı boyunca belli bir hız ve vites oranında hareket ettiği varsayılarak, İYM ve elektrik motora düşen devir sayısı hesaplanmaktadır. İYM hız-tork haritasında, belli bir devirde farklı tork değerleri üretebilme imkânı vardır. İYM'nin üretebileceği farklı tork değerlerine göre oluşacak eksik tork değerleri elektrik motoru yardımıyla sağlanacaktır. Maliyet fonksiyonunu minimumda tutarak, EEMY ile bu iki enerji kaynağı toplanmakta ve her kaynağın hangi bölgede çalışacağı tespit edilmektedir. Benzetim ortamında araç modelinin dışında, $u(t)$ fonksiyonuna ait çalışma noktalarını ve maliyetleri hesaplayabilmek için EEMY içerisinde İYM, elektrik motor ve batarya verim haritalarının tanımlanması gerekmektedir. Bu aşamada Bölüm 4.4'te anlatılan içten yanmalı motora ait yakıt haritası kullanılmaktadır. Elektrik motor için ise elektriksel verim haritası parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametrelere göre hesaplanan u değeri Denklem 41 ve 42 kullanılarak elektrik ve içten yanmalı motora ait istek güç girdilerini oluşturmaktadır.

5.5 Adaptif EEMY

Eşdeğer Enerji Minimizasyon yönteminin daha da verimli hale getirilmesi için global optimuma yaklaşan öngörülü kontrol yöntemleri geliştirilmiştir.

EEMY uygulamalarında ana parametre eşdeğerlik faktörüdür. Birçok çalışmada bu parametrenin anlık tahmini için çeşitli yöntemler sunulmuştur. Yöntemlerden biri, anlık araç hızından tahmin edilen yol yükünün mevcut sürüş çevrimleri (NEDC, ECE vb.) ile karşılaştırılarak o sürüş çevrimlerine ait bir eşdeğerlik faktörü seçilmesine dayanmaktadır (Musardo vd., 2005).

EEMY temelinde sürüş çevriminin bilinmesi temeline dayanmaktadır (Liu vd., 2018). çalışmasında, en yakın komşu tahmincisi (NNP¹⁶) olarak adlandırılan Markov zinciri¹⁷ tabanlı sürüş çevrimi tahmini yapılmaktadır. Bu bağlamda, en yakın komşu tahmincisi gelecekteki sürüş koşullarına kendini uyarlamakta ve takviyeli öğrenme (RL¹⁸) yöntemi ile algoritmanın gerçek zamanlı uygulanmasını sağlamaktadır

Başka bir çalışmada, yol eğim bilgisinin mevcut algoritmaya entegre edilmesi halinde yakıt ekonomisinde bir kazanç elde edileceğini öne sürülmektedir. Yol yükünün daha hassas bir şekilde hesaplanmasından dolayı en uygun eşdeğerlik faktörü seçilebilecektir (Zhang vd., 2010).

Yakıt tüketimi sürüş tarzı ile doğrudan bağlantılıdır. Bu bağlamda, sürüş tarzlarının gruplandırılmasıyla optimize edilecek bir eşdeğerlik faktörü ile yakıt ekonomisine doğrudan katkı sağlanacaktır (Yang vd., 2018). Sürüş tarzlarının ayrıştırılması, Kernel yoğunluk tahmini ve veri analizi üzerinden gaz kelebeği açıklığı ve ivmelenme parametrelerine göre yapılmıştır.

EEMY için diğer bir önemli girdi ise batarya doluluk oranı olarak tanımlanmaktadır. Eşdeğerlik faktörü azaldıkça daha çok elektrik enerjisi, eşdeğerlik faktörü arttıkça daha çok yakıt enerjisi kullanılmaktadır. Dolayısıyla batarya doluluk oranının değişimine göre eşdeğerlilik faktörü değiştirilebilmektedir. Bu bağlamda, başlangıç batarya doluluk oranına bağlı bir fonksiyonla ile farklı sürüş çevrimleri için mesafeye göre oluşturulmuş bir sabit parametre kümesinin çarpılmasıyla anlık olarak değişebilen bir eşdeğerlik faktörü tanımlanmaktadır (Zeng vd., 2018). Bahsi geçen çalışma içerisinde, altı farklı standart sürüş çevrimi tanımlanmaktadır. Sürüş çevrimlerinin, maksimum hız, rölanti süresi, ve ortalama hız verileri üzerinden tanımlanarak anlık gerçekleşen mikro yolculuğun hangi sürüş çevrimine ait olduğu saptanmaktadır. Saptanan sürüş çevrimine uygun eşdeğerlik faktörü parametresi seçilmektedir.

Kural ve Güvenç (2015) çalışmalarında, rejeneratif geri kazanım için yol eğiminin bilinmesinin öneminden bahsetmektedir. Dijital harita ve GPS ile mevcut rota üzerinde olası yokuş aşağı yol profilleri öngörülebilmektedir. Bu kapsamda, mevcut yol eğimlerinin bilinmesiyle en uygun rejeneratif enerji kazanım stratejileri belirlenebilmektedir. Bunların belirlenmesinde batarya doluluk oranı da dikkate alınmalıdır. Belirlenen batarya doluluk alt ve üst sınırların konumlarına göre geri kazanım noktaları etkilenmektedir. Bu yöntem ile yol eğiminden kaynaklı rejeneratif enerji kazanımı maksimize edilmektedir.

¹⁶ Nearst Neighbor Predictor

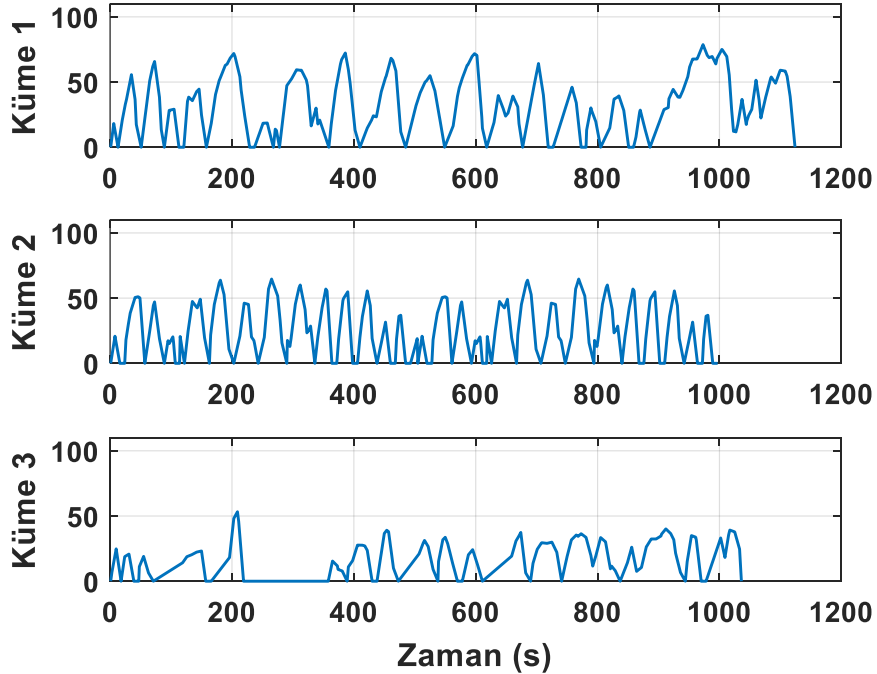
¹⁷ Markov Chain

¹⁸ Reinforcement Learning

Tablo 13. Kümelenirilmiş sürüş alt çevrimlerine ait eşdeğerlik faktör değerleri

Küme	S_{chg}	S_{dis}
Küme 1	2,2	1.4
Küme 2	2,16	0.92
Küme 3	3,23	2.17

Mevcut çalışmada, Bölüm 3.5'te detayı verilen, farklı trafik koşullarını temsil eden sürüş çevrimleri oluşturulmuş ve bunlara ait eşdeğerlik katsayıları bulunmuştur. Adaptif EEMY'nin uygulanmasında kullanılan 1000 sn'lik sürüş çevrimleri Şekil 53 ile gösterilmektedir. Böylelikle, sürüş esnasında sisteme girecek yeni veri setinin(hız profili, güç talebi) hangi sürüş çevrimine benzediği öngörülerek o kümeyle ait eşdeğer katsayısı anlık olarak güncellenebilmektedir. Yeni veri setinin hangi kümeyle ait olduğunun tespiti Şekil 52'de gösterilen öngörme yöntemi bloğuyla gerçekleştirilmektedir. Öngörme yönteminde, Bölüm 3.3'te temel bileşen analizine göre oluşturulmuş dört ana bileşen (PC1,PC2,PC3,PC4) MATLAB 'Classification Learner' aracıyla işlenmektedir. Böylelikle modelin hesaplamalarına göre, veri setinin hangi alt kümeyle ait olduğu belirlenmektedir.



Şekil 53. Standartlaştırılmış kümeler

5.6 Dinamik Programlama (DP) Algoritması

DP optimal kontrol problemlerini çözmek için güçlü bir sayısal yöntemdir. Diğer yöntemlere göre en büyük avantajı, sorunun türüne bakılmaksızın bulunan çözümün global olarak optimum olmasının garantilenmesidir. En büyük dezavantajı, durum değişkenlerinin sayısı ve sistem girdileri arttıkça işlem süresi ve yükünün katlanarak artmasıdır (Elbert vd., 2013).

Bu çalışmada dinamik programlama (DP) için Matlab ortamında hazır bir fonksiyon oluşturulmuştur. Bu bölümde, optimal kontrol problemlerinin özel bir sınıfı olan, sabit son zamanlı ve kısmi olarak kısıtlanmış bir son duruma sahip problem tipi ele alınmıştır. Ayrıca, bu problemin durum kısıtlamaları ve girdi kısıtlamaları içerdiği varsayılmaktadır. Özetle, bahsi geçen kontrol problemi, $x(t)$, SOC olmak üzere ve $u(t)$, güç paylaşımı olmak üzere aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir (Sundström vd., 2010).

$$\min_{u(t)} J(u(t)) \quad (57)$$

$$J(u(t)) = G(x(t_f)) + \int_0^{t_f} H(x(t), u(t), t) dt \quad (58)$$

$$\dot{x}(t) = F(x(t), u(t), t) \quad (59)$$

$$x(0) = x_0 \quad (60)$$

$$x(t_f) \in [x_{f,min}, x_{f,max}] \quad (61)$$

$$x(t) \in X(t) \quad (62)$$

$$u(t) \in U(t) \quad (63)$$

Maliyet fonksiyonunu oluşturan, G fonksiyonu çözüm sonunda $x(t) = SOC$ değişkeninin belirlenen bitiş değerine eşit olmasını, H fonksiyonu anlık eşdeğer yakıt tüketimini simgelemektedir.

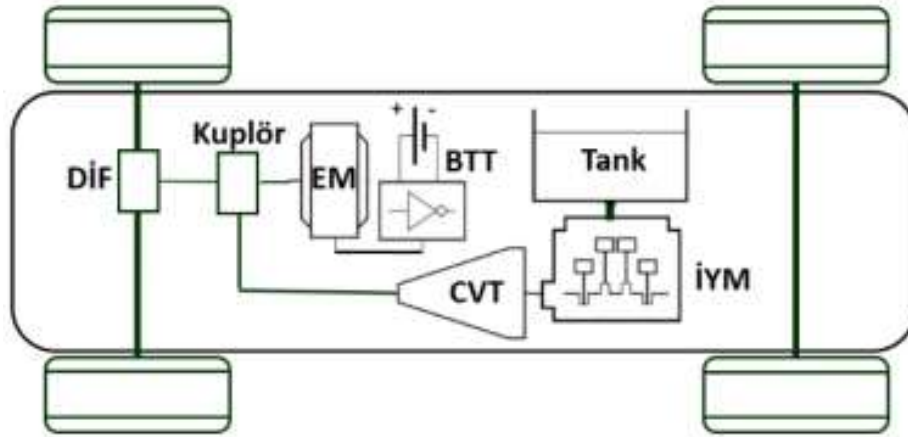
5.7 220 Nolu Hat için Bir Hibridizasyon Önerisi

Bu bölümde Bölüm 3.3'te anlatılan hat için bir hibridizasyon önerisinde bulunulmuştur. Tablo 14 ile çalışmada kullanılan hibrit otobüsün parametreleri gösterilmektedir. MATLAB/Simulink yazılımında paralel hibrit otobüs modeli oluşturulmuştur. Şekil 54 ile enerji kaynaklarında oluşturulan gücü tekerleklere aktaran paralel hibrit mimari gösterilmektedir. Araç modelinde Bölüm 3.3'te olduğu gibi direnç kuvvetleri bağlamında rüzgâr direnci, yuvarlanma kuvveti ve ivmelenme direnci hesaplamalarda göz önünde bulundurulmaktadır. Ek olarak bu bölümde, araç

ağırlığının yolcu sayısına göre değişmesi ve yol eğimi parametreleri de hesaplamalara eklenmiştir.

Tablo 14. Hibrit otobüs özellikleri

Öge	Parametre	Değer
Araç	Tür	Paralel Hibrit
	Ağırlık	10000(kg)+Yolcu kütlesi
	C_d	0.6
	Hava yoğunluğu	1.24 (kg/m ³)
	Ön cephe alanı	7.2 (m ²)
	Teker yarıçapı	0.475 (m)
İYM Vites Kutusu	Vites oranları	(0.7- 4.8) CVT
	Son dişli oranı	5
	Şanzıman verimi	0.9
İYM	Yakıt Türü	Dizel
	Maksimum Tork	856 (N.m)
	Maksimum Güç	273(kW)
	Maksimum Hız	3300 (RPM)
Elektrik Motor	Maksimum Tork	4095 (N.m)
	Maksimum Güç	200 (kW)
	Maksimum Hız	5700 (RPM)
	Son dişli oranı	3
Batarya	Kapasite	3kW.h



Şekil 54. Hibrit güç aktarma mimarisi

Elektrik motor torku, vites kutusundan geçmeksizin tekerleklerle aktarılmaktadır, bu yüzden düşük hız ve yüksek torka sahip olan EM konfigürasyonu kullanılmaktadır.

Bununla birlikte, Ankara şehir içinde işletilen 220 nolu belediye otobüsüne ait veriler kullanılarak farklı trafik durumlarını gösteren dört grup sürüş çevrimi elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 3.3). Bu sürüş çevrimler kümesi içerisinde dördüncü küme otoban sürüş tipini temsil etmektedir.

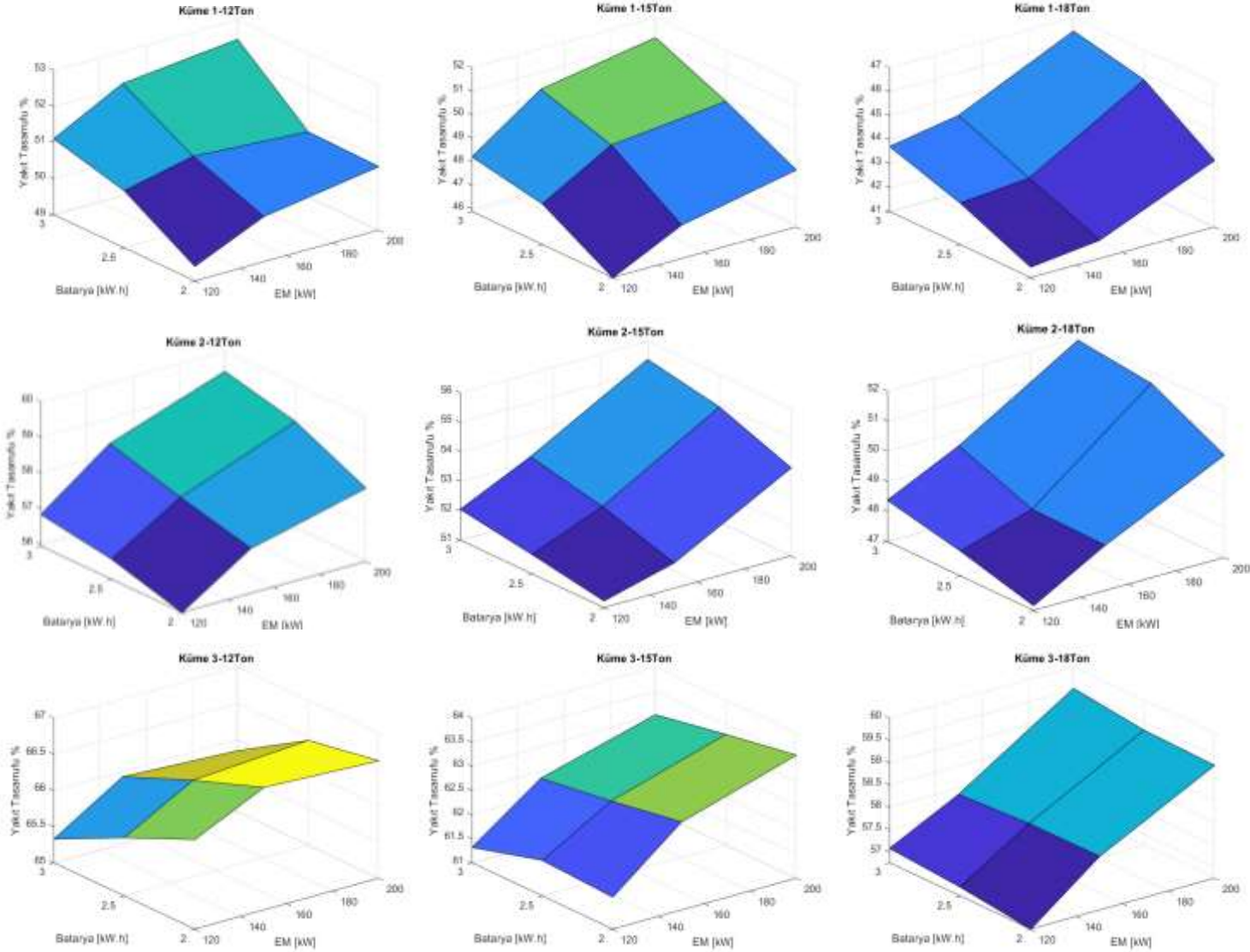
Bir ön analiz olarak, şehir içi sürüş koşullarını temsil eden ilk üç küme ve EEMY algoritması kullanılarak, farklı batarya kapasiteleri ve farklı elektrik motor güç kombinasyonları kurularak hibrit araç mimarisi için en verimli elektrik güç grubu seçilmiştir. Aynı zamanda, benzetim yapılan bütün sürüş çevrimlerinde üç farklı kütle alınarak otobüs modelinin boş, yarı dolu ve tam dolu durumlarının elektrik güç grubu üzerinde etkisi incelenmiştir. Oluşturulan durumlara göre üç farklı sürüş çevrimi kümesi için 12,15,18 ton ağırlıkla EEMY algoritması oluşturulmuştur. Benzetim sonucunda batarya ve elektrik motor kapasitesine göre EEMY algoritmasının sağladığı yakıt tasarrufu haritaları Şekil 55 ile gösterilmektedir. Yapılan benzetimlerde batarya paketi 2,2.5 ve 3 kWh'lik, elektrik motor gücü ise 120,150 ve 200 kW'lık kapasitelerde seçilmiştir. Şekil 55 ile gösterilen yakıt tasarruf haritalarına göre EEMY algoritmasında bütün otobüs kütlelerinde 200kW elektrik motoru, 3kWh batarya paketiyle en verimli sonuçları elde edilmektedir.

5.7.1 Sürüş Çevrimleri ve Operasyonel Şartlar

Bölüm 3.3'te oluşturulan sürüş kümeleri Ankara şehir içi 220 nolu hat üzerinde işletilen belediye otobüsleri üzerinden elde edilmektedir. Ankara şehrinde veri toplanan 220 numaralı otobüs hattına ait rota Şekil 56 ile gösterilmektedir.

220 numaralı hat üzerinde toplam 141 adet durak vardır ve gün içerisinde 46 sefer düzenlenmektedir. Rotada gidiş-dönüş toplam kat edilen mesafe 61.38 km ve süresi takriben 180 dakikadır. Hat üzerinde iki durak arası en kısa mesafe 107 m, en uzun mesafe ise 2427 metredir. Seferler 6.30-22.30 arası gerçekleşmekte ve bekleme süresi bulunmamaktadır.

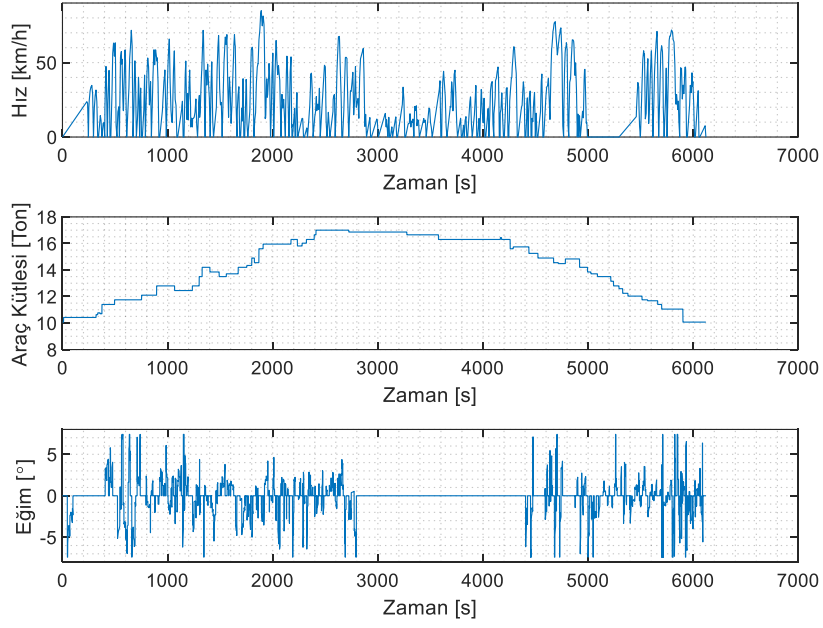
Simülasyon çalışmalarını gerçekleştirmek adına Arvento'dan temin edilen ve düzenlenen verilerden, saat 13:00-16:00, 16:00-19:00 ve 19:00-21:00 arasına denk gelen seferler seçilmiştir. Yol eğimini hesaplamak adına toplanan veriler içerisinde yer alan mesafe ve yükseklik değerlerinden faydalanılmıştır. Duraklardaki yolcu inmesi/binmesi nedeniyle aracın kütlesi zaman içerisinde değişken varsayılmıştır. Seferlere ait hız profili, eğim bilgisi ve kütle değişimi Şekil 57, Şekil 58 ve Şekil 59 ile gösterilmektedir.



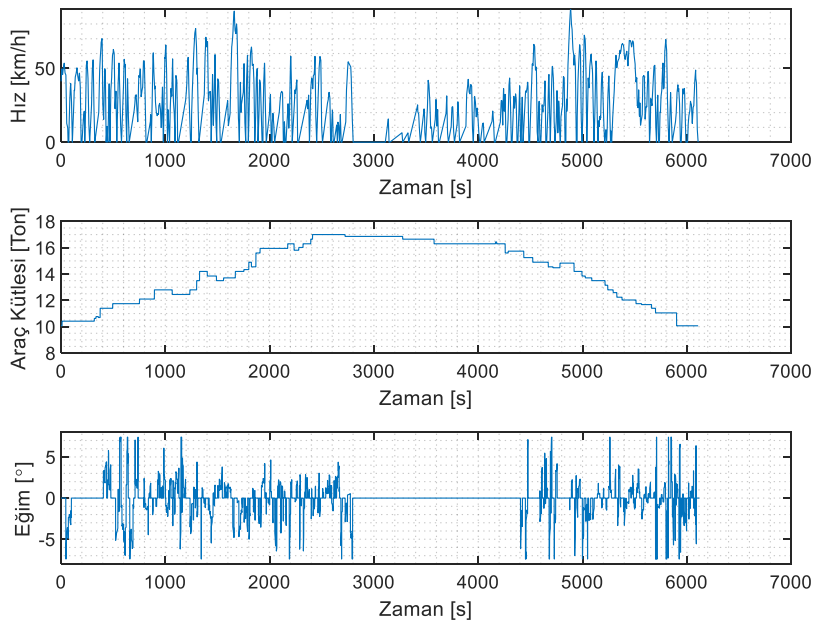
Şekil 55. Batarya ve elektrik motoru kapasitelerine göre EEMY algoritması ile elde edilen yakıt tasarruf haritaları



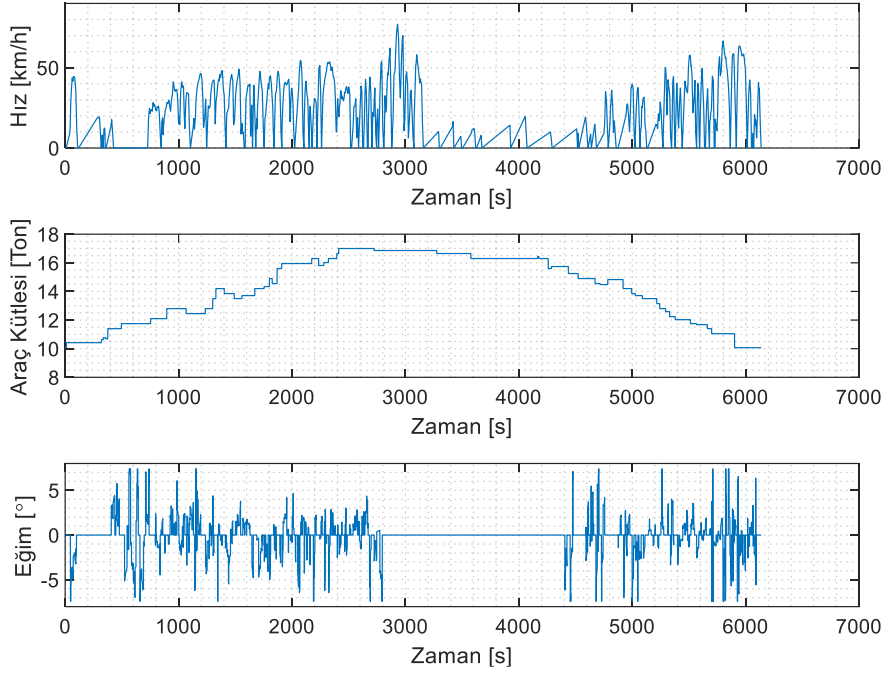
Şekil 56. 220 numaralı hatta ait rota bilgisi



Şekil 57. Saat 13:00-16:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi

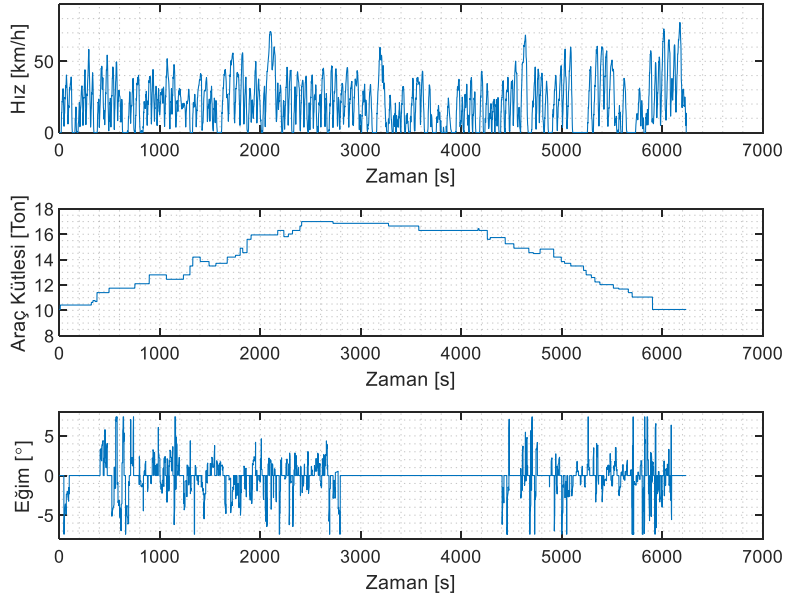


Şekil 58. Saat 16:00-19:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi



Şekil 59. Saat 19:00-21:00 arası 220 numaralı hatta ait hız profili, araç kütlesi ve eğim verisi

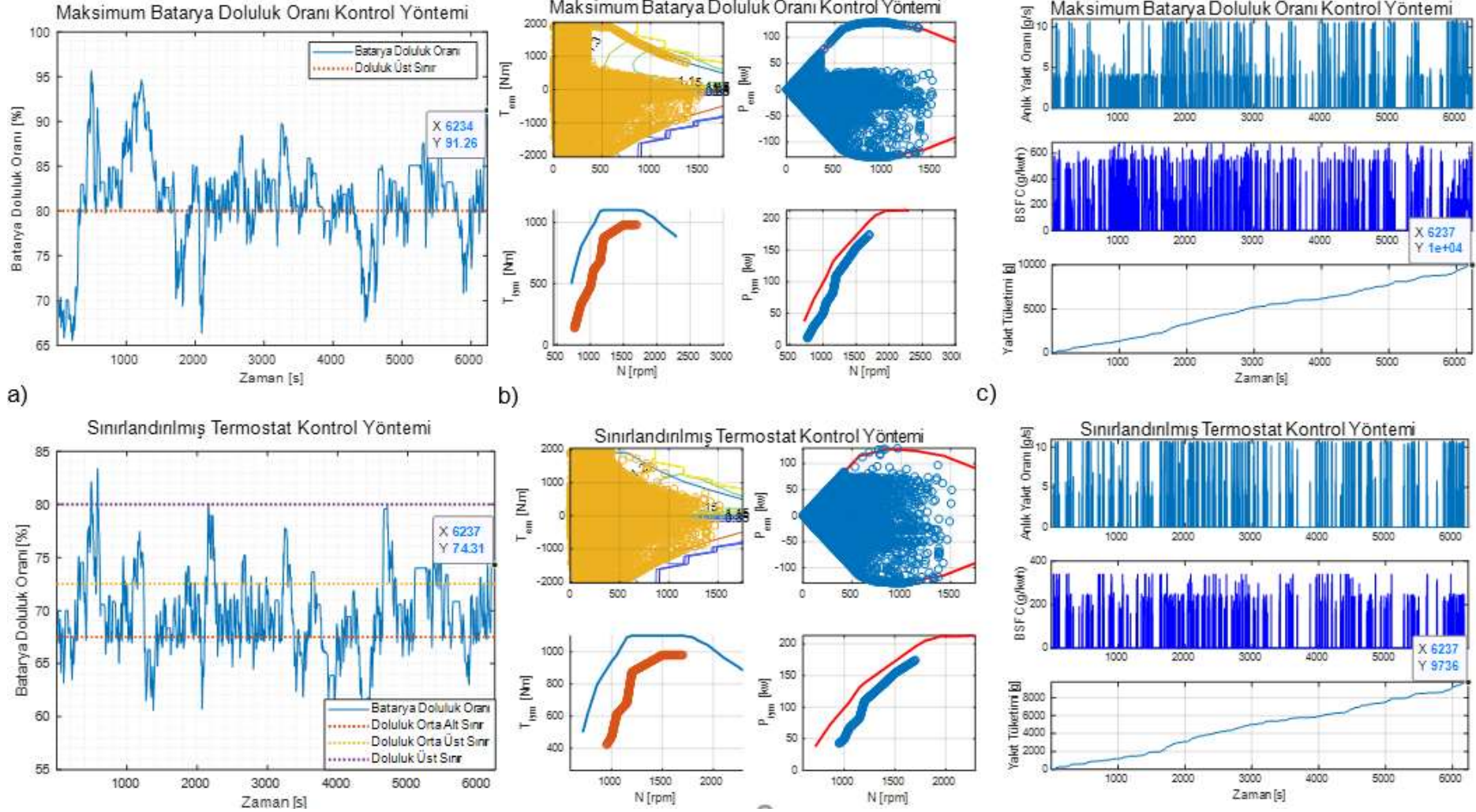
Hibrit algoritmaların koşturulması için seçilen üç farklı saat dilimine ait seferler haricinde MAN TÜRKİYE A.Ş. ile aynı bölgede yapılan deneyler sonucu oluşturulan sefer verisi de kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm 4.4.2). MAN TÜRKİYE A.Ş. ile yapılan deneylerde duraklarda yolcu indirilip bindirilmediğinden, durak yerlerine göre olası yolcu değişikliği göz önünde bulundurularak değişken kütle tanımlanmıştır. Bu verilere göre oluşturulan sefer verisi Şekil 60 ile gösterilmektedir.



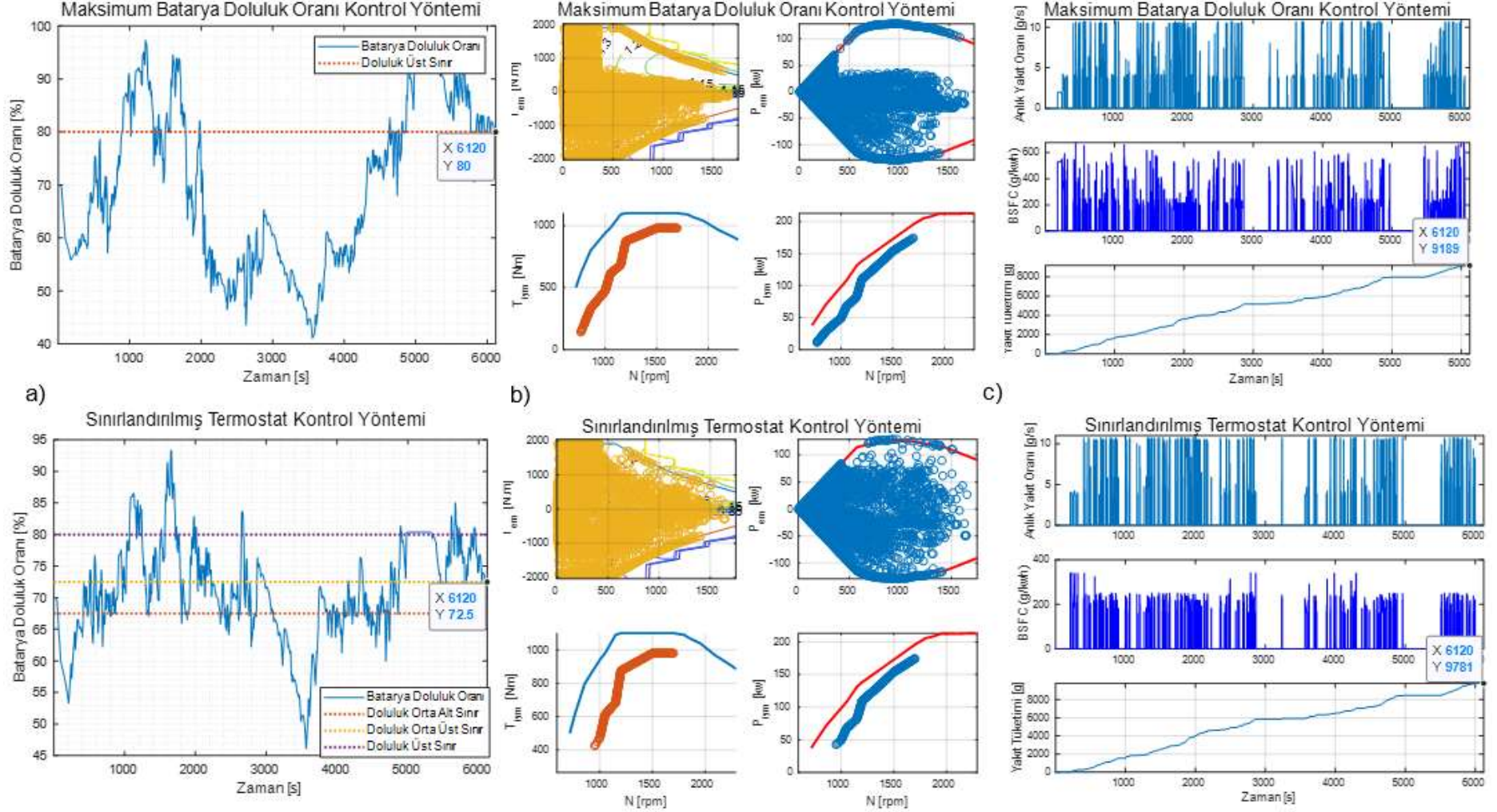
Şekil 60. Saat 10:00-13:00 arası 220 numaralı hat üzerindeki MAN TÜRKİYE A.Ş. otobüsü sefer verileri

5.7.2 Sınırlandırılmış Termostat ve Maksimum Batarya Doluluk Oranı Algoritma Sonuçları

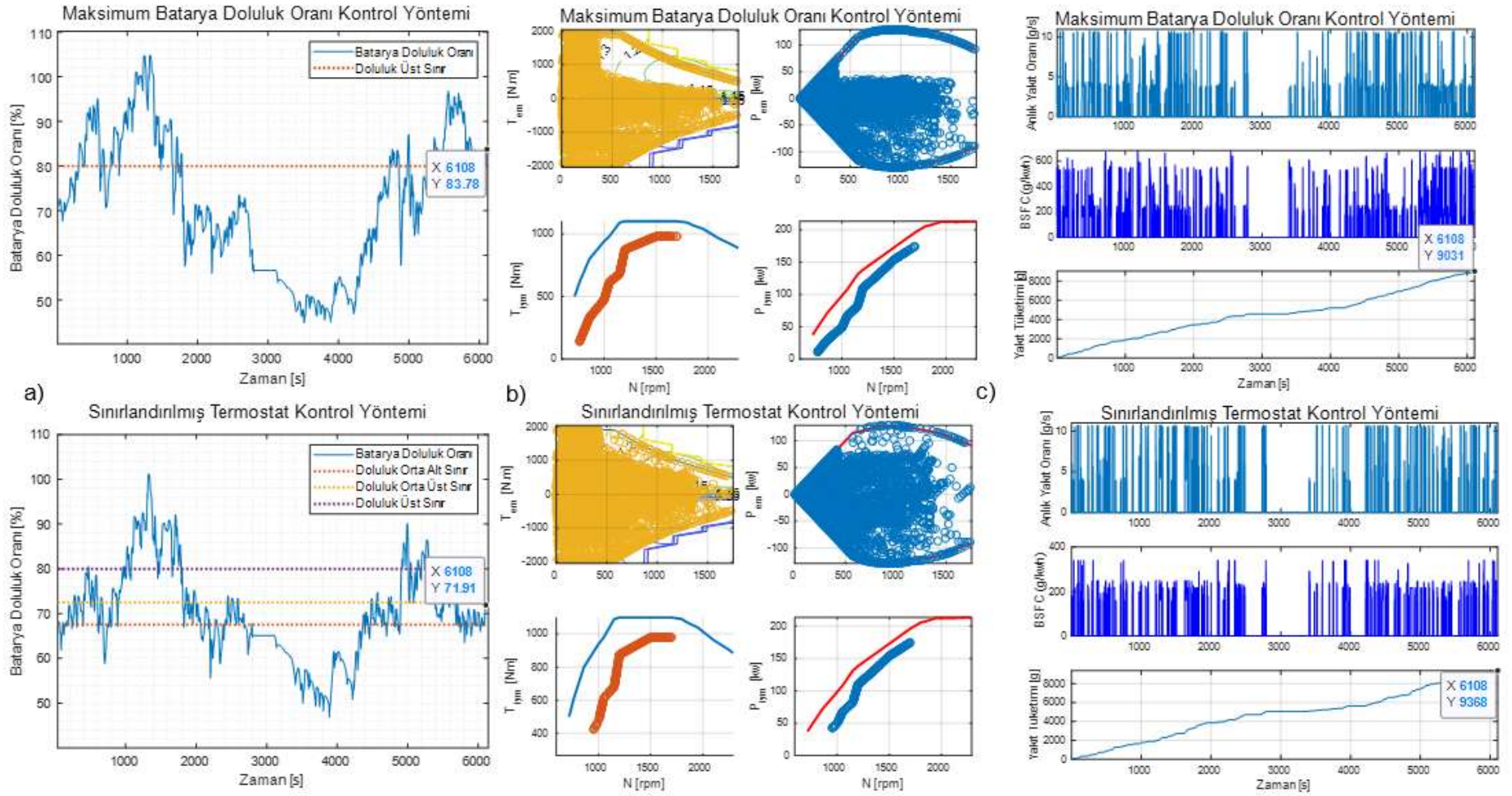
Sınırlandırılmış Termostat ve Maksimum Batarya Doluluk Oranı kontrol algoritması tespit edilen dört farklı sefer için gerçekleştirilmiştir. Benzetim yapılan algoritmalarda batarya doluluk oranı sürüş çevriminin başında %70 olarak tanımlanmıştır. Bununla beraber, batarya doluluk oranının istenilen sınırlar içerisinde tutulması için Sınırlandırılmış Termostat algoritması kurgusunda minimum, orta ve maksimum batarya doluluk oranı sırasıyla %60, %67,5-%72,5, %80, Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritmasında, maksimum batarya doluluk oranı %80 olarak tanımlanmaktadır. 10:00-13:00, 13:00-16:00, 16:00-19:00 ve 19:00-21:00 saat dilimleri arasında oluşturulmuş seferlere göre gerçekleştirilen kural tabanlı hibrit algoritmalarının sonuçları karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 61, Şekil 62, Şekil 63 ve Şekil 64 ile gösterilmektedir.



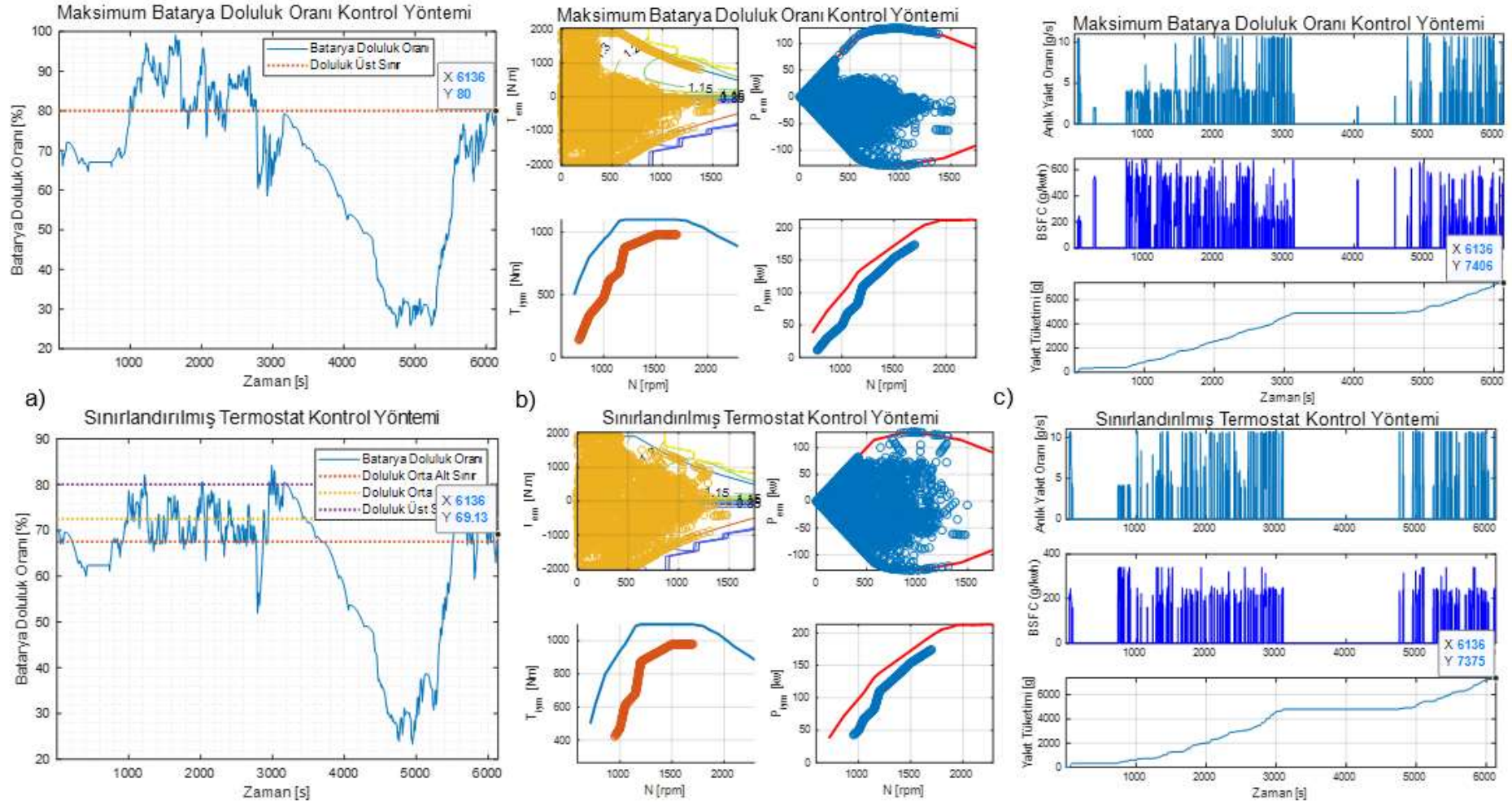
Şekil 61. 10:00-13:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlanmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



Şekil 62. 13:00-16:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlanmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



Şekil 63. 16:00-19:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlandırılmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



Şekil 64. 19:00-21:00 seferinde koşturulmuş Maksimum Batarya Doluluk Oranı ve Sınırlanmış Termostat kontrol yöntemi sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri

5.7.3 Adaptif / Adaptif Olmayan EEMY Sonuçları

Adaptif / Adaptif olmayan EEMY algoritmaları da önceki bölümde tanımlanan seferler üzerinde uygulanmıştır. Adaptif olmayan eşdeğer enerji minimizasyon yönteminde eşdeğerlik faktörü, koşutlanan sefer için optimize edilebilmektedir. Benzetimlerde kullanılan seferlere göre s_{dis} ve s_{ch} parametreleri Tablo 15 ile gösterilmektedir.

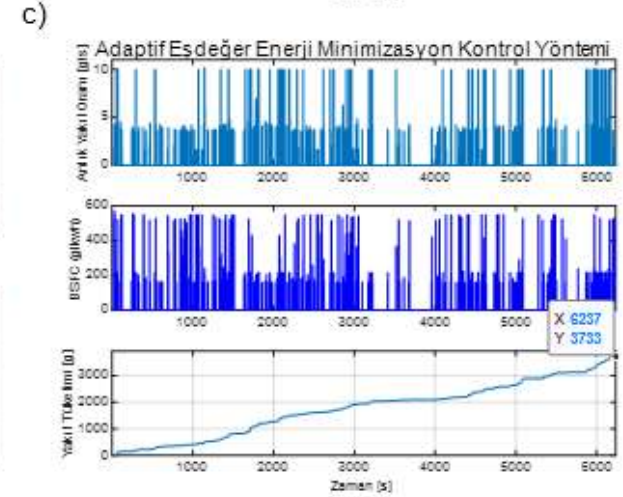
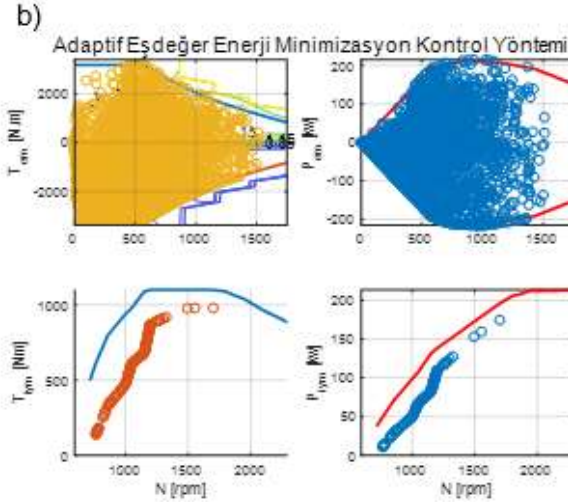
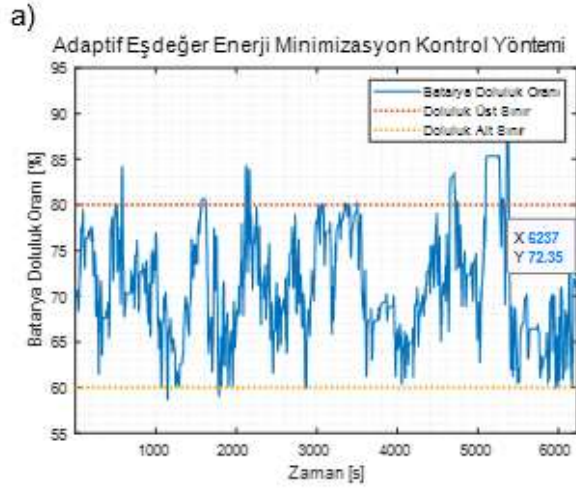
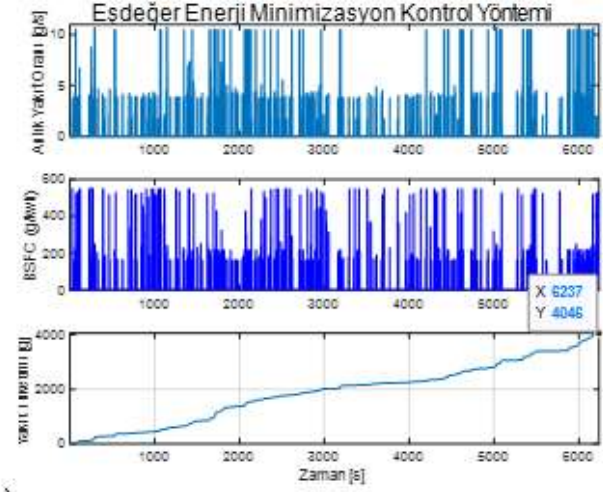
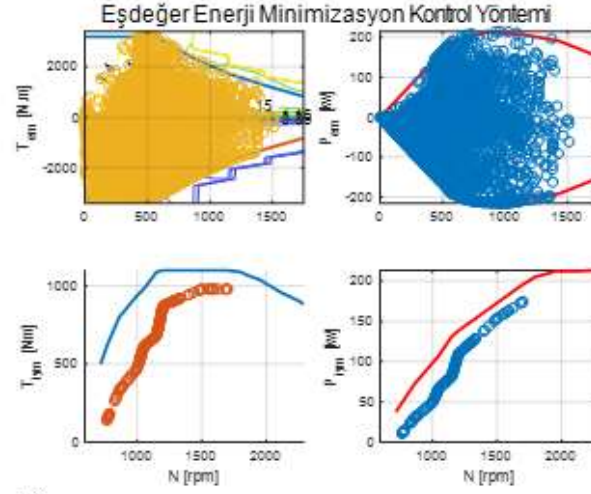
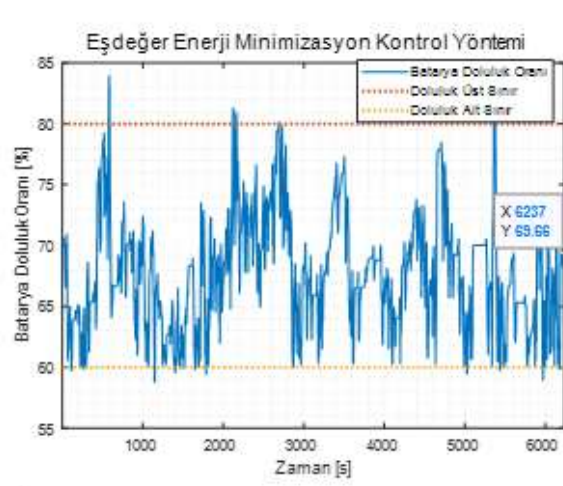
Tablo 15. Seferlere göre eşdeğerlik faktör değerleri

Sürüş Çevrimi	s_{chg}	s_{dis}
10:00-13:00 arası 220 Numaralı Otobüs Hattı	2,14	1.21
13:00-16:00 arası 220 Numaralı Otobüs Hattı	2,2	1,03
16:00-19:00 arası 220 Numaralı Otobüs Hattı	2,36	1,30
19:00-21:00 arası 220 Numaralı Otobüs Hattı	2,25	1.40

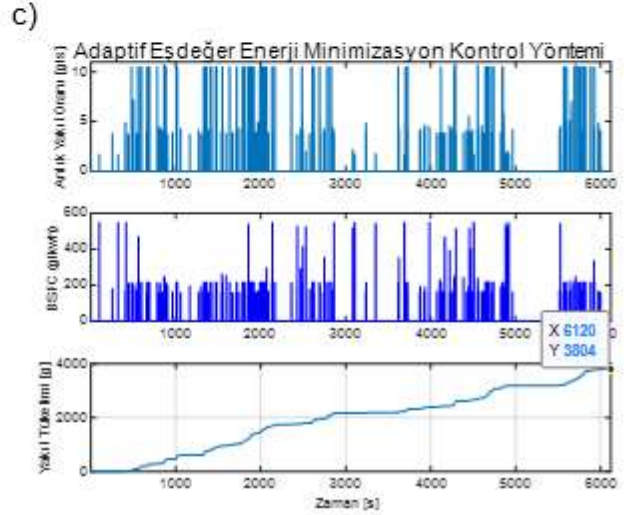
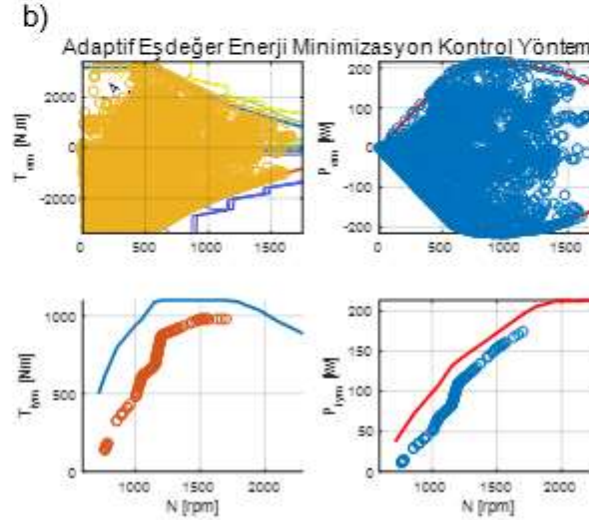
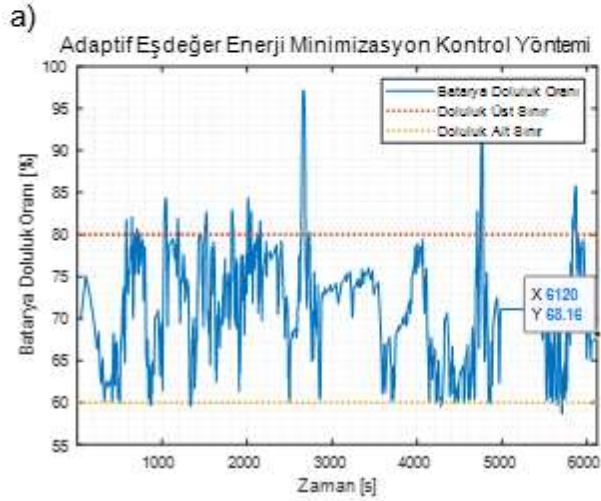
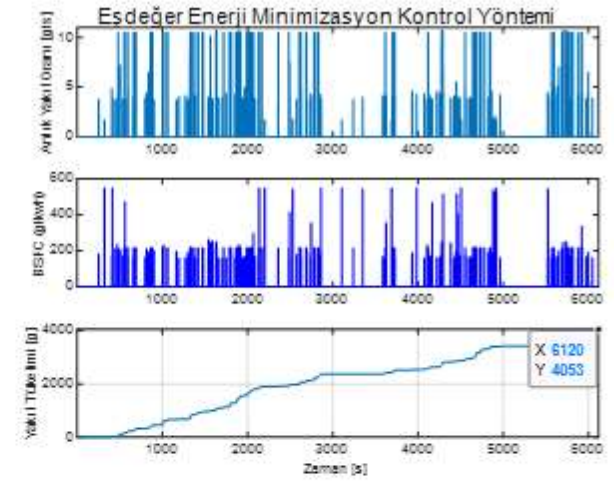
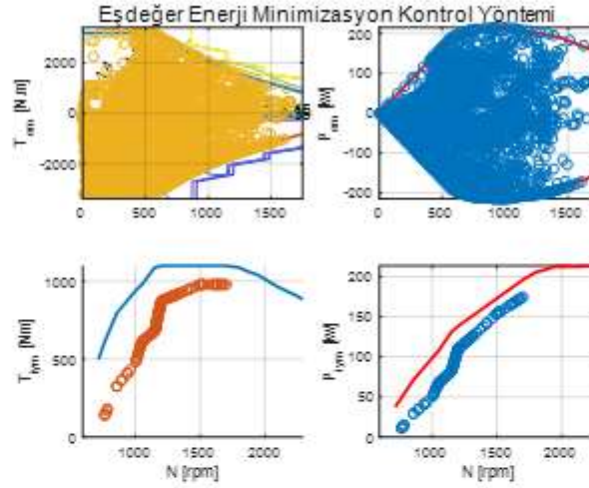
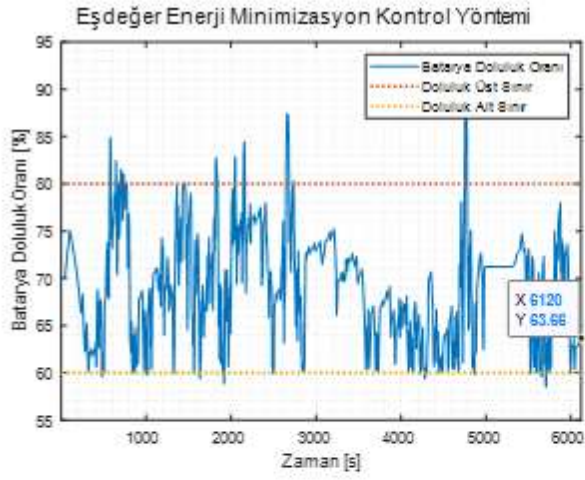
Eşdeğerlik faktörünün optimal değeri yalnızca sürüş döngüsü biliniyorsa optimize edilebilmektedir. Bu sebeple mevcut çalışmada, farklı sürüş koşullarına göre de kümelendirilmiş sürüş alt çevrimlerine (Bkz. Bölüm 3.3) ait eşdeğerlik faktörleri kümeleri oluşturulmuştur. Böylelikle sürüş esnasında sisteme girecek yeni veri setinin (hız profili, güç talebi vb.) hangi sürüş alt çevrimine benzediği öngörülerek o kümeye ait eşdeğer katsayısı anlık olarak güncellenmiştir. Adaptif EEMY, benzetimleri gerçekleştirilirken Bölüm 3.3'te oluşturulan sürüş alt çevrimlerine ait hesaplanan s_{dis} ve s_{ch} parametreleri kullanılmaktadır.

Her iki yöntemde de, batarya doluluk oranı sürüş çevrimi sonunda istenilen seviyede tutmak için önlemler bulunmaktadır. Batarya doluluk oranının değişmesiyle uygulanan ceza fonksiyonları batarya doluluk oranının başlangıç değerine yönelmesini sağlamaktadır. Benzetim yapılan algoritmalarda batarya doluluk oranı sürüş çevriminin başında %70 ve alt-üst sınırları 60%-80% olarak tanımlanmaktadır.

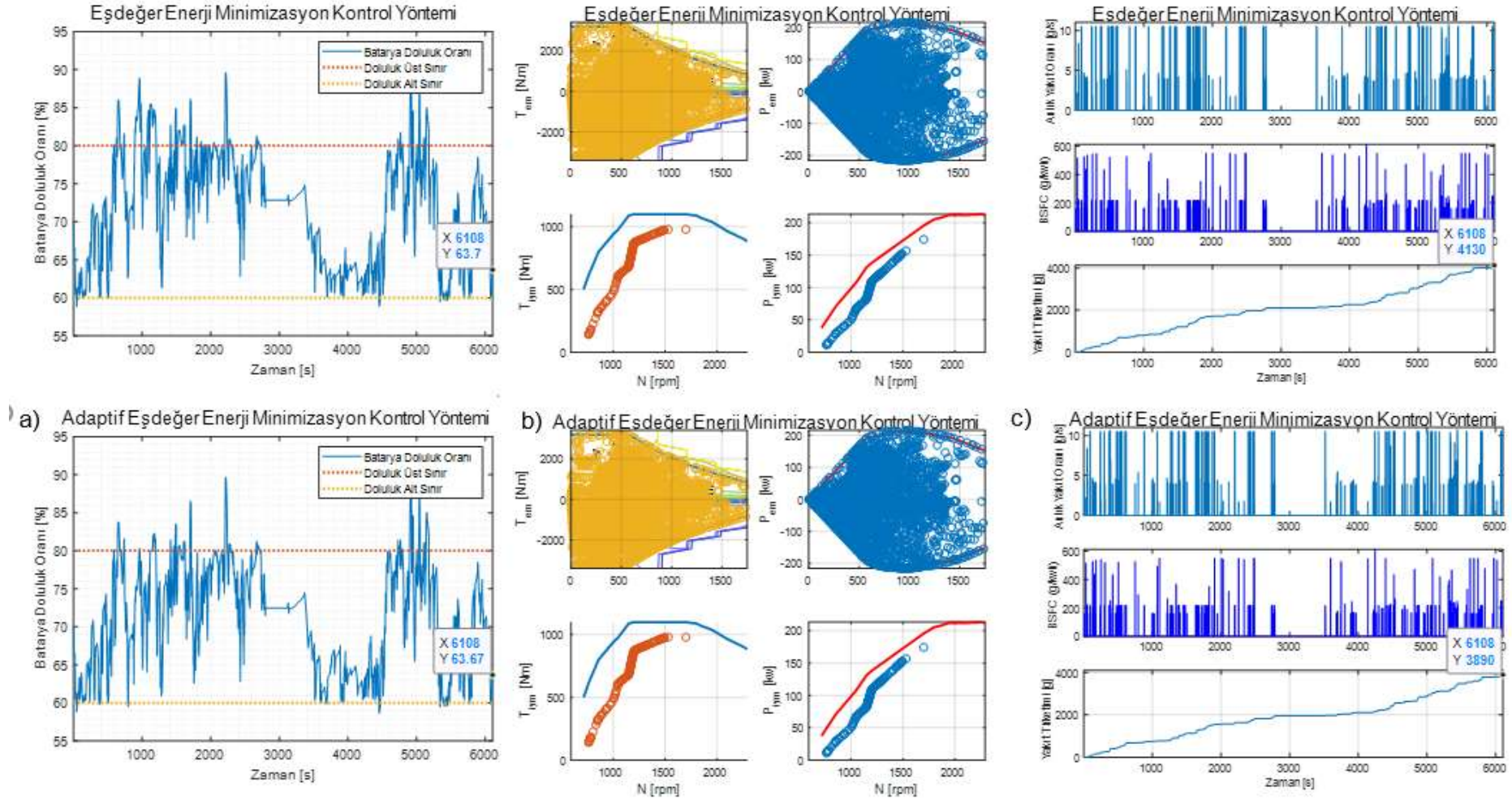
10:00-13:00, 13:00-16:00, 16:00-19:00 ve 19:00-21:00 saat dilimleri arasında oluşturulmuş seferlere göre gerçekleştirilen Adaptif / Adaptif olmayan eşdeğer enerji minimizasyon yöntemi algoritmalarının sonuçları karşılaştırmalı olarak sırasıyla Şekil 65, Şekil 66, Şekil 67 ve Şekil 68 ile gösterilmektedir.



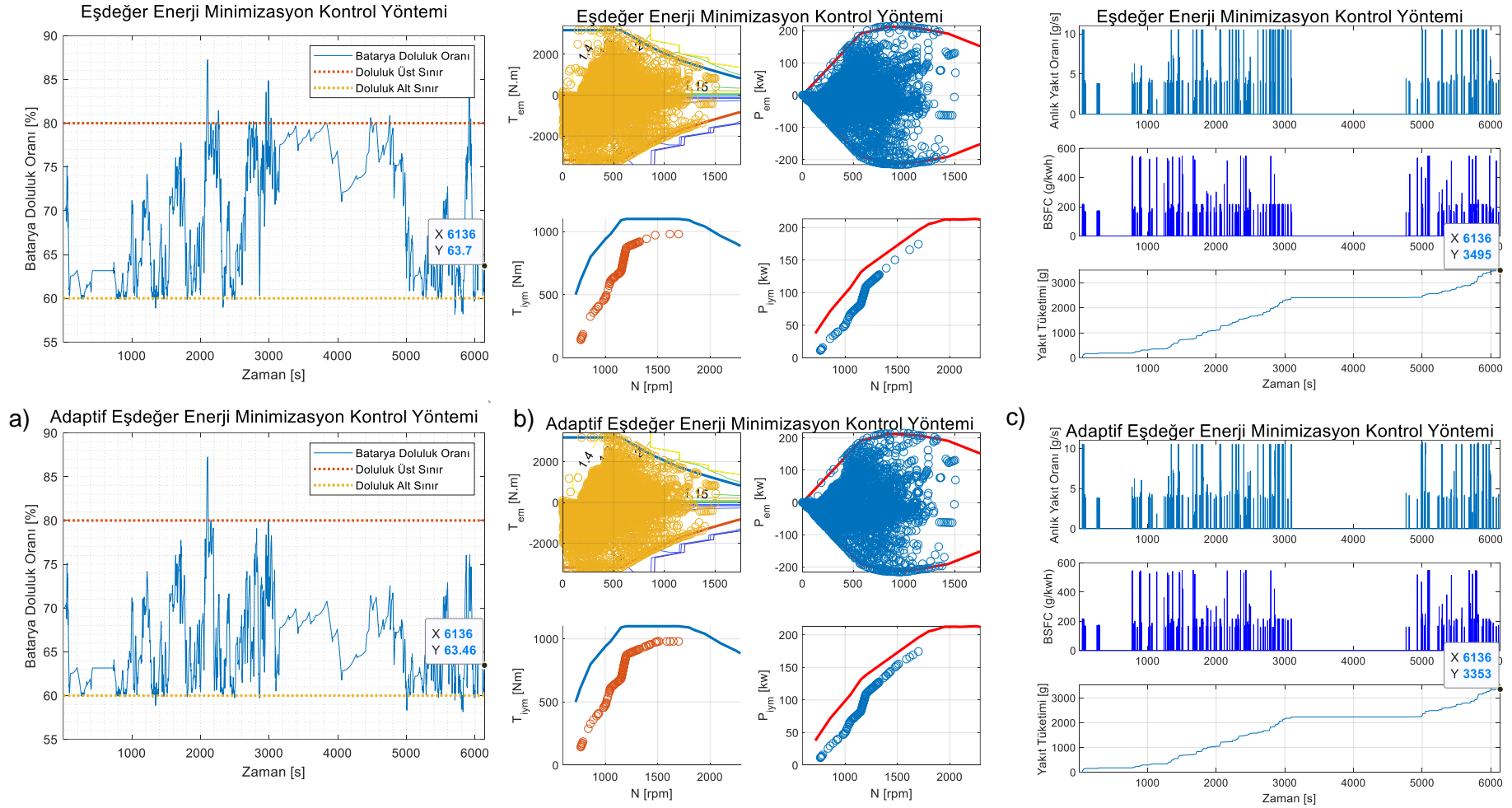
Şekil 65. 10:00-13:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



Şekil 66.13:00-16:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



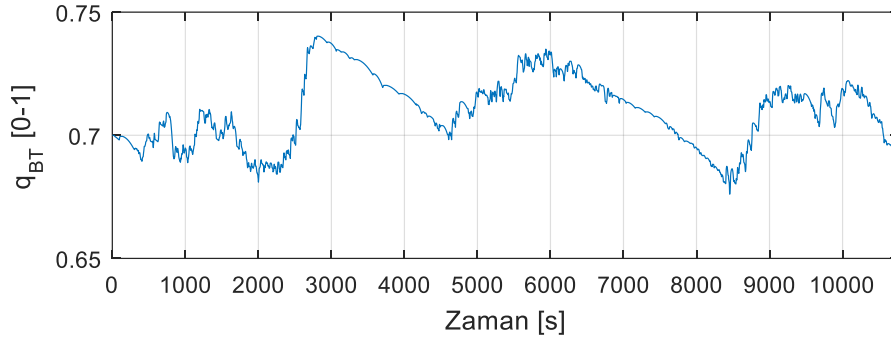
Şekil 67. 16:00-19:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri



Şekil 68. 19:00-21:00 seferinde Adaptif / Adaptif olmayan EEMY sonuçları a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Yakıt tüketim grafikleri

5.7.4 Dinamik Programlama Sonuçları

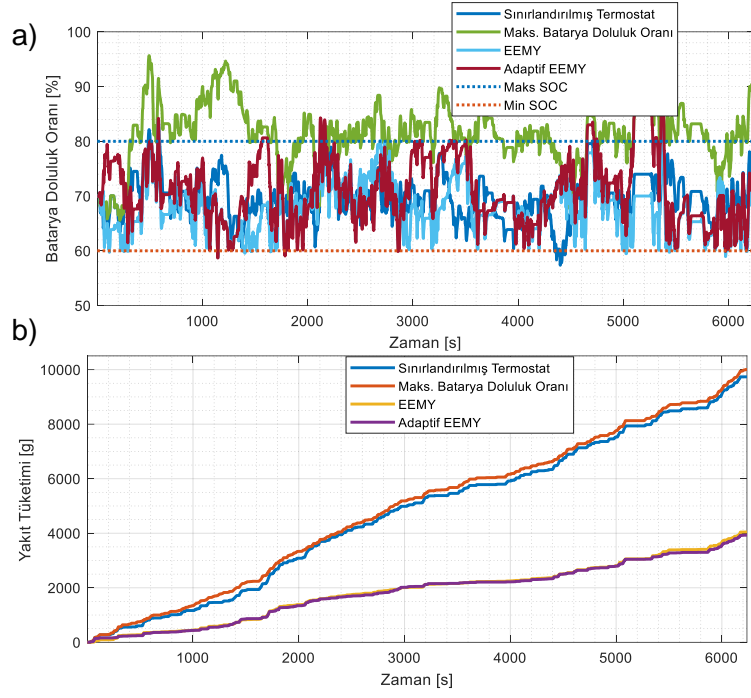
Çalışmada bir bütünlük oluşturulması adına, her ne kadar gerçek zamanlı olarak uygulanması mümkün olmayacaksa da DP algoritmasının performansı da incelenmiştir. DP algoritmasında benzetim çalışmaları esnasında, saat 10:00-13:00 arasına denk gelen bir hız-zaman profili seçilmiştir. DP algoritmasında durum değişkeni, bataryanın doluluk oranı, $x_k = SoC$ olarak alınmaktadır, ayrıca u_k parametresi EM ve İYM arasındaki güç paylaşımını ifade etmektedir. Şekil 69 ile gösterildiği gibi, batarya doluluk oranı sürüş çevriminin başında %70 değerindedir ve sürüş çevrimi sonunda bu değer sabit kaldığı görülmektedir. DP algoritmasında uygulanan seferde yakıt tasarrufu %52.6 olarak tespit edilmiştir. DP algoritmasının EEMY'ye göre daha düşük yakıt tasarrufunu sağlamanın temel sebebi iki algoritmanın test edildiği seferlerin birbirinden farklı olmasıdır.



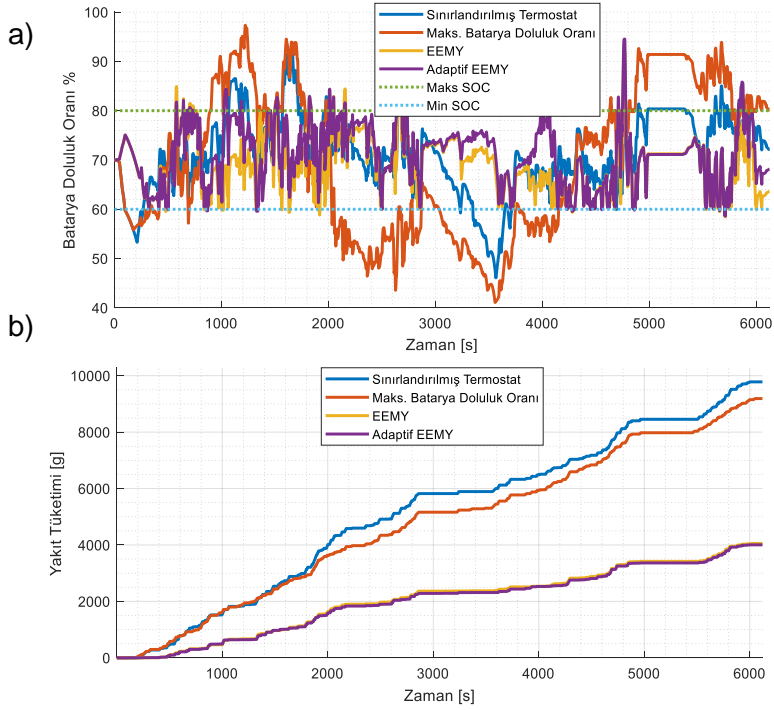
Şekil 69. Hibrit araçta DP yöntemiyle elde edilen batarya doluluk değişimi

5.8 Sonuç

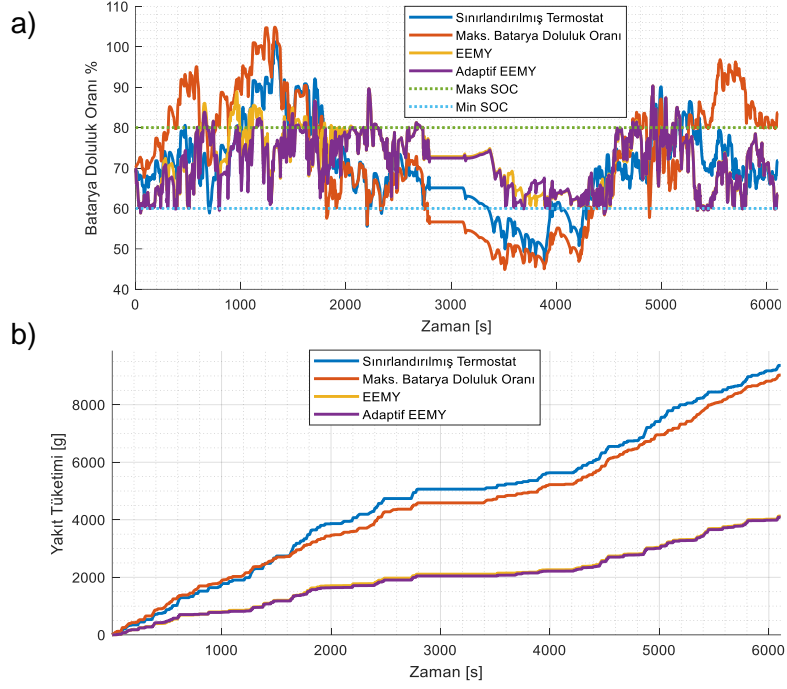
Bölüm 5.7.1'de belirtilen sefer verileri kullanılarak kural tabanlı ve optimizasyon tabanlı kontrol algoritmalarına ait oluşan batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları karşılaştırmalı olarak Şekil 70, Şekil 71, Şekil 72 ve Şekil 73 ile gösterilmektedir. Aynı zamanda her sürüş çevrimi için oluşan yakıt tasarrufları farklı hibrit kontrol stratejileri için Tablo 16, Tablo 17, Tablo 18 ve Tablo 19 ile gösterilmektedir.



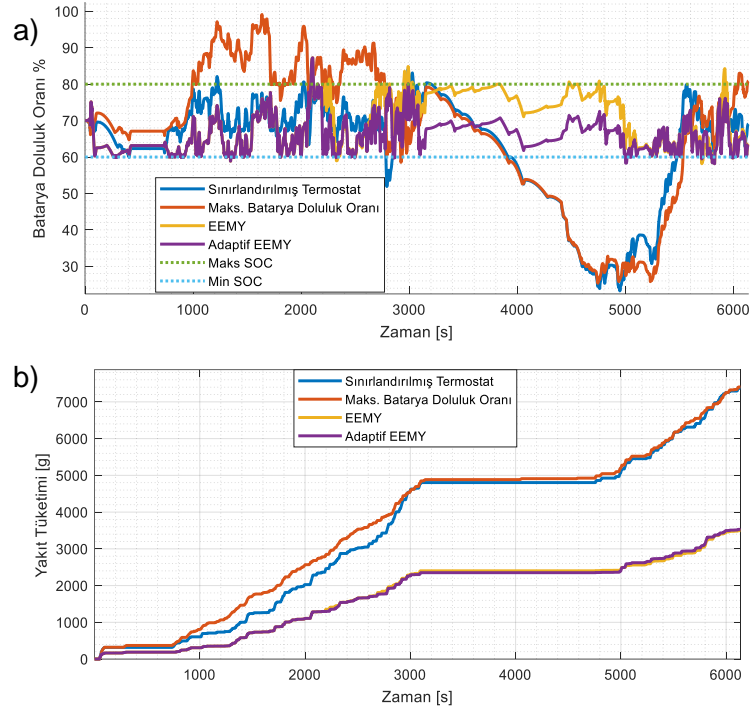
Şekil 70. 10:00-13:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a)batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları



Şekil 71. 13:00-16:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a)Batarya doluluk oranları b) Yakıt miktarları



Şekil 72. 16:00-19:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) Batarya doluluk oranları
b) Yakıt miktarları



Şekil 73. 19:00-21:00 seferinde hibrit kontrol yöntemlerine ait sonuçlar a) Batarya doluluk oranları
b) Yakıt miktarları

Tablo 16. 10:00-13:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları

Durum	Eşdeğer Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	13160	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	9718	74.31	26.15
Maks. Batarya Doluluk Oranı	9948	90	24.41
EEMY	4046	69.66	69.29
Adaptif EEMY	3723	72.35	71.70

Tablo 17. 13:00-16:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları

Durum	Eşdeğer Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	13390	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	9781	70	26.96
Maks. Batarya Doluluk Oranı	9153	80.23	31.64
EEMY	4066	63.66	69.63
Adaptif EEMY	3808	68.16	71.58

Tablo 18. 16:00-19:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları

Durum	Eşdeğer Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	12810	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	9355	71.91	26.97
Maks. Batarya Doluluk Oranı	8994	83.7	29.79
EEMY	4146	63.7	67.63
Adaptif EEMY	3906	63.65	69.50

Tablo 19.19:00-21:00 seferinde farklı araç mimarilerine göre yakıt ve batarya doluluk oranları

Durum	Eşdeğer Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	10410	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	7377	69.13	29.18
Maks. Batarya Doluluk Oranı	7371	80.97	29.19
EEMY	3506	63.7	66.32
Adaptif EEMY	3367	63.46	67.66

Batarya doluluk oranlarının başlangıç ve bitiş yüzdeleri karşılaştırıldığında ortaya çıkan fark yakıt ısı değerini çarpanıyla İYM yakıt tüketimine eklendiği zaman, eşdeğer yakıt miktarı elde edilmiştir. Tablo 16, Tablo 17, Tablo 18 ve Tablo 19 ile dört farklı sefer için sadece İYM ile tükettiği yakıt miktarı ve diğer enerji yönetim algoritmalarına ait eşdeğer yakıt tüketimi verilmektedir. Eşdeğer yakıt miktarına göre yapılan yakıt tasarrufuna bakıldığında Adaptif EEMY bütün sürüş çevrimlerinde en az yakıt tüketen algoritma olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, Kural

tabanlı ve optimizasyon tabanlı algoritmalar arasında yarı yarıya yakıt tasarrufu farkı bulunmaktadır. Kural tabanlı hibrit algoritmalar içerisinde Sınırlandırılmış Termostat algoritması 10:00-13:00 seferinde Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritmasına göre daha az yakıt tüketimi sağlarken diğer sürüş çevrimlerinde Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritması daha az yakıt tüketimi sunmaktadır.

Batarya doluluk oranı noktasında kural tabanlı hibrit algoritmaları, bazı sürüş çevrimleri içerisinde minimum belirlenen %60 doluluk seviyesinin altına düştüğü gözlemlenmekte, ancak çevrim sonunda istenen doluluk seviyeleri arasında bitirmektedir.

EEMY ve Adaptif EEMY algoritmaları arasında yakıt tasarrufu farkı %1 ile %2.5 arasında değişmektedir. Adaptif EEMY algoritması sürüş çevrimi bilgisini kümelendirmesi ve o kümelere ait farklı eşdeğerlik faktörü kullanması sonucunda EEMY algoritmasına göre biraz daha az yakıt tüketilmesini sağlamaktadır. Ancak genel olarak varılan sonuç, otobüs hatları gibi araç takip sistemleri vasıtasıyla oldukça yoğun hız-zaman verisi bulunan ulaştırma sistemlerinde, EEMY yönteminin yakıt tüketimi azaltımı konusunda oldukça yüksek başarımı olduğudur. Bu sebeple Bölüm 8'de yapılan deneysel doğrulama çalışmasında sadece EEMY yöntemi diğer kural tabanlı olmayan yöntemlerle karşılaştırılmış ve Adaptif EEMY deneysel olarak incelenmemiştir. İlerleyen bölümde, gerçek zamanlı testlerin yapıldığı prototip aracın tasarım ve üretim süreçleri, deney ortamının kurulması anlatılmıştır.

BÖLÜM 6. PROTOTİP ARACIN TASARIMI, ÜRETİMİ VE VERİ TOPLAMA SİSTEMİNİN KURULUMU

6.1 Giriş

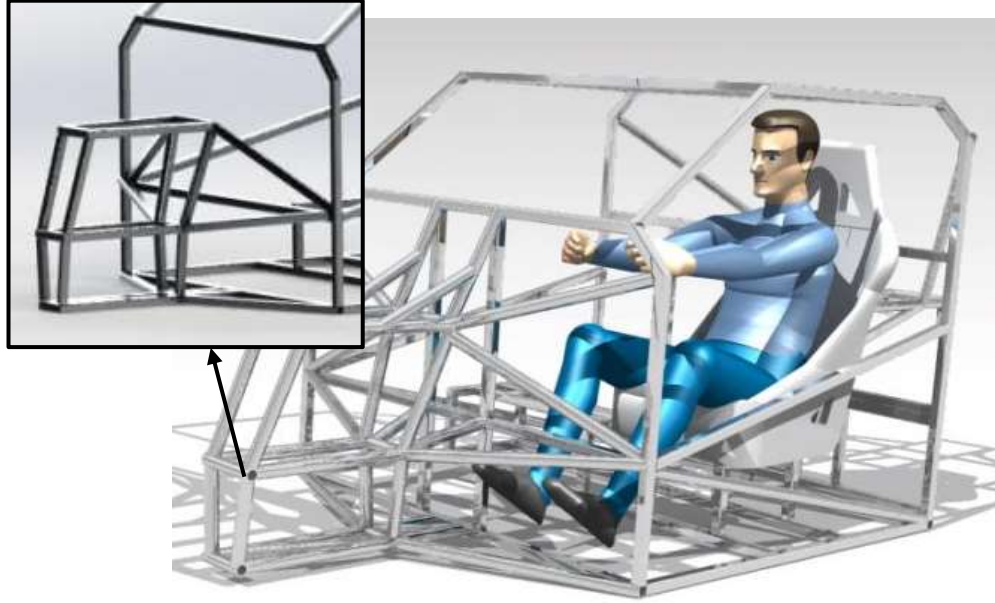
Bu kısımda, ayırık akstan paralel hibrit taşıt platformunun tasarımı ve üretimi anlatılmıştır. Hibrit enerji yönetim sistemi algoritmalarının uygulanabilmesi için gerekli olan içten yanmalı motor özellikleri ele alındığında, kontrol alan ağı (CAN) üzerinden belirli verilere erişimin (motor devri, kelebek açısı, yakıt miktarı) önem arz ettiği tespit edilmiştir. UTV tipi dört tekerlekli araçların kullandığı motorlar genelde, projede kullanılması planlanan motor hacmine (300cc-500cc) göre daha büyük hacimlidir ve CAN erişimleri bulunmamaktadır. Ayrıca, bunların şanzımanlarının ve aktarma organlarının tasarlanan araca montajlanması nispeten zahmetlidir. Öte yandan, hem düşük hacimli motor seçeneklerinin çok fazla olması hem de kaliteli sürekli değişken iletim (CVT) şanzımana sahip olmaları nedeniyle motosikletlerin motor/aktarım sistemlerini ön plana çıkarmıştır. Buna ek olarak, bu tip araçların, motor ve şanzıman birimlerinin paket halinde olması araç şasi kısmına montajlanmasını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca CAN ağına da erişimleri mümkündür.

Üstteki sebeplerden, hibrit kontrol algoritmalarının uygulanabileceği platformu yaratmak için motosiklet motoru ve aktarma organları kullanılmıştır ve buna uygun olarak, proje kapsamında içten yanmalı motor arka tekerleği, jant içi elektrikli motorlar ise ön tekerlekleri tahrik edecek şekilde üç tekerlekli bir taşıt üretilmiştir. Araca ait Elektrik motoru (EM), İçten yanmalı motor (İYM), varyatör tipi şanzıman (CVT) gibi donanımların şasi dinamometresinde karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları sonucunda ortaya çıkan tork, yakıt, verim haritaları üzerinden gerçek zamanlı mikro denetleyici (MicroAutoBox II) donanımı kullanılarak gaz kelebeği açısı, komuta voltajı, rejeneratif frenleme aktivasyonu gibi sinyaller oluşturulabilmiştir.

6.2 Şasi Tasarımı

Hibrit taşıt, önde jant içi elektrik motorları ve arkada içten yanmalı motoru olacak şekilde üretilmiştir. Şasi ölçülerinin belirlenmesi için, bir yandan ön ve arka süspansiyon ve direksiyon sistemlerinin tasarımı öte yandan mukavemet analizi verilerinin değerlendirilmesi önem arz etmiştir. Bunun yanı sıra, Şekil 74 ile gösterilen, ortalama bir insan modelinin (72 kg ve 1.80m) sürüş ergonomisi ve oturma pozisyonları göz önünde bulundurularak koltuk, direksiyon ve gaz pedallarının konumları tam olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, motorun tahrik ettiği arka tekerleğe ait süspansiyon üzerinden ölçü alınmış ve şasinin arka bölgesinde ve süspansiyon bağlantı parçalarında bu ölçüye göre tasarım yapılmıştır. Buna ek olarak motor şasi bağlantı noktası yüksek dayanımlı 7075 Alüminyum alaşım levha kullanılarak tasarlanmıştır.

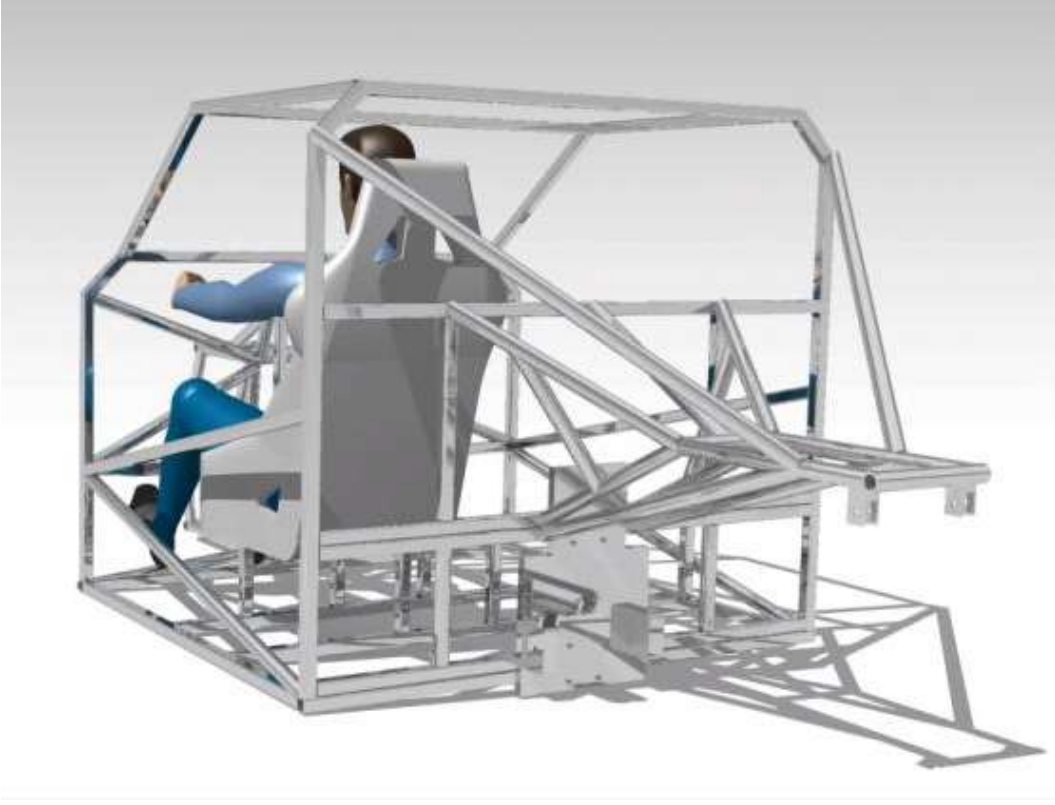
Tasarlanan şasi üzerinde güçlendirme çalışmaları sanal ortamda gerçekleştirilmiştir: mukavemet analizleri boru profil ile Ansys Workbench ortamında yapılmıştır. Güçlendirme aşamasında özellikle aracın ön kısmına ekstra profiller eklenmiştir. Mukavemet analizleri sonucunda oluşan tasarımın son hali farklı gösterimlerle Şekil 75 ve Şekil 76 ile verilmiştir.



Şekil 74. Şasi ön kısım eski ve yeni görünüm



Şekil 75. Şasi yandan görünüm



Şekil 76. Şasi arkadan görünüm

6.3 Şasi Mukavemet Analizi

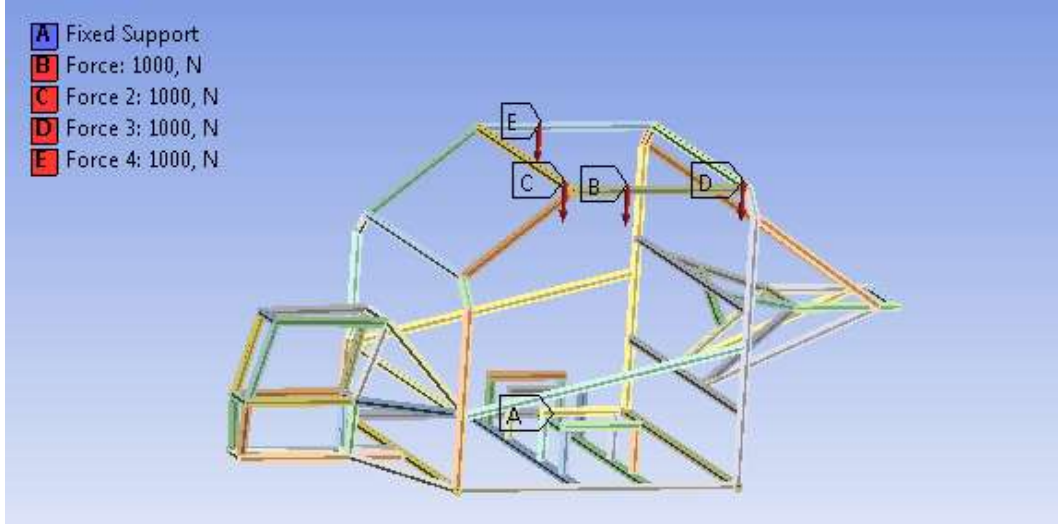
Tasarım sürecinin başından sonuna kadar, şasi üzerinde birçok analiz yapılmıştır. Alüminyumdan yapılan şaside 'Eşdeğer von Mises' ve 'maksimum kesme' teorileri kullanılmıştır. Analizler şasi için iki farklı yük tipi kullanılarak yapılmıştır:

1. Şasinin devrilme olması halinde kafes üzerinde oluşacak statik yük;
2. Yol koşullarında oluşacak darbe yüklerinin süspansiyon noktalarında oluşturacağı yükler.

6.3.1 Şasi ve Kafes Üzerine Statik Yükleme

Şasi üzerinde etki eden kuvvet, araç devrildiğinde oluşacak ağırlık göz önünde bulundurularak 4000 N olarak kabul edilmektedir. Şasi üzerine etki eden kuvvetler Şekil 77 ile gösterilmektedir.

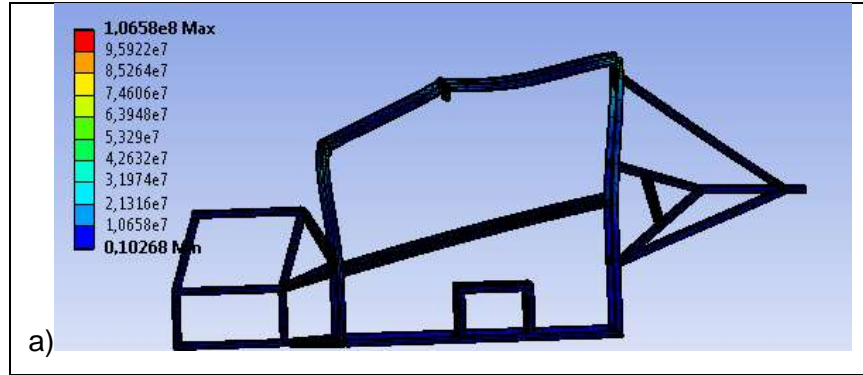
Kafes üzerine statik yükleme Ansys analiz sonuçları Tablo 20 ile gösterilmektedir. Analiz sonuçlarının gösterimi ve yük altındaki şasi görünümleri Şekil 78 ile gösterilmektedir.

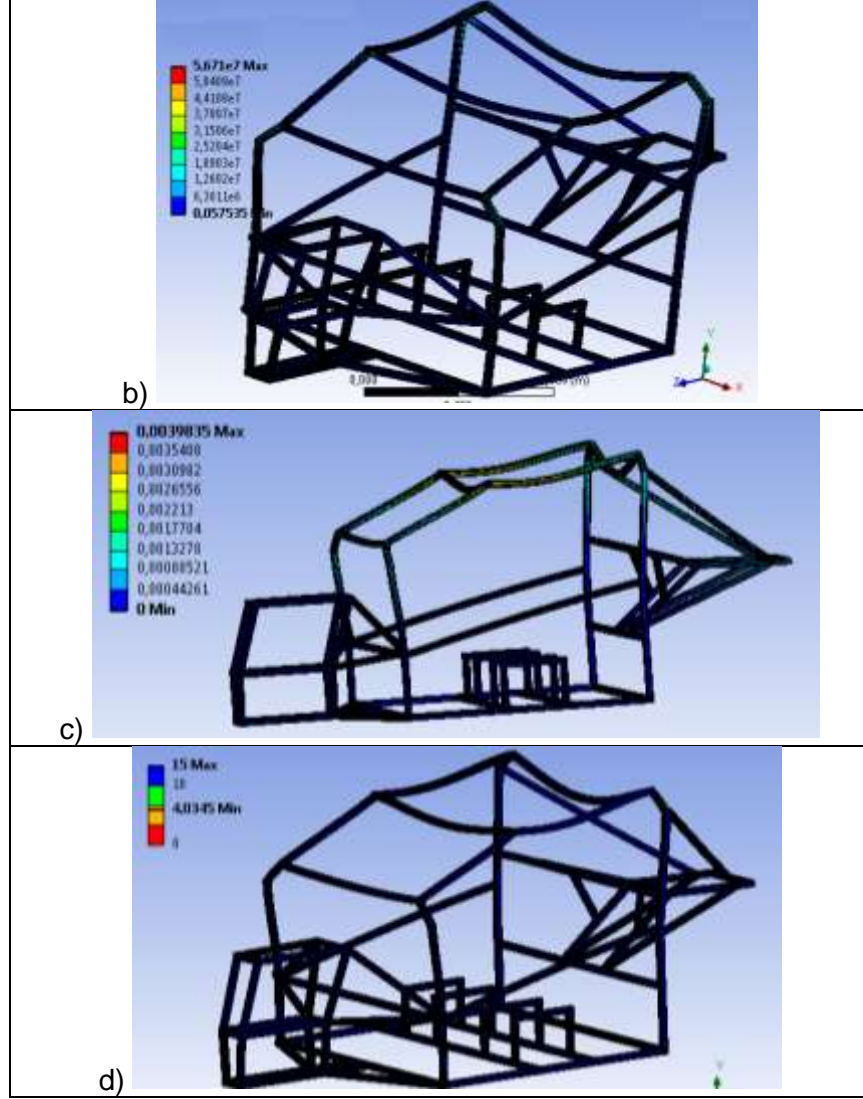


Şekil 77. Şasi üstüne etki eden kuvvetlerin gösterimi

Tablo 20. Kafes statik mukavemet analiz sonuçları

Çözümleme Değerleri	Değerler
Maksimum Eşdeğer Von Mises Gerilimi:	<i>106.5 MPa</i>
Maksimum Kesme Gerilimi:	<i>56.7 MPa</i>
Toplam Deformasyon (m):	<i>0.00398</i>
Minimum Güvenlik Faktörü:	<i>4.1</i>



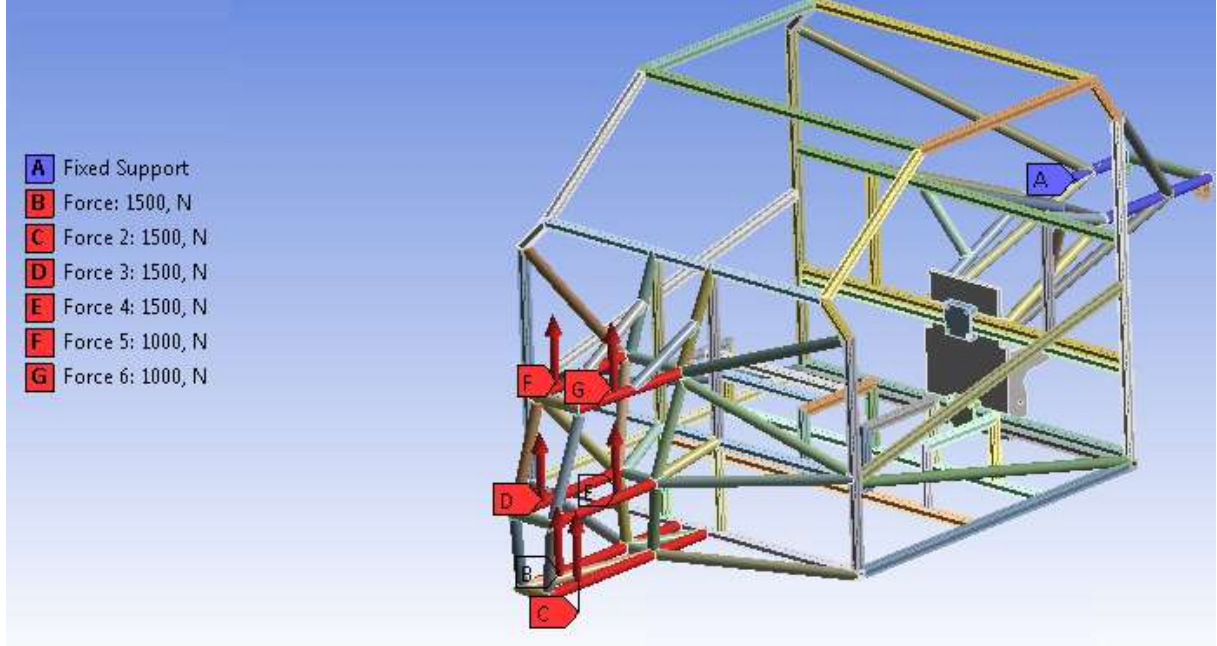


Şekil 78. Kafes-şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises gerilim dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam deformasyon dağılımları, d) Güvenlik faktörü dağılımları

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde şasi üretimi için seçilmiş alüminyum alaşım-6082-t6'nın uygun olduğu gözükmektedir.

6.3.2 Ön süspansiyon Tarafında Uygulanan Darbe Yüğü

Yol koşullarında oluşacak darbe yüklerinin süspansiyon kolları ve damper üstünde oluşturacağı kuvvet vektörleri şasi üzerinde Şekil 79 ile gösterilmektedir. Sağ ve sol süspansiyon noktalarına simetrik olarak varsayılan darbe kuvveti (Toplam: 8000N) olarak uygulanmıştır.

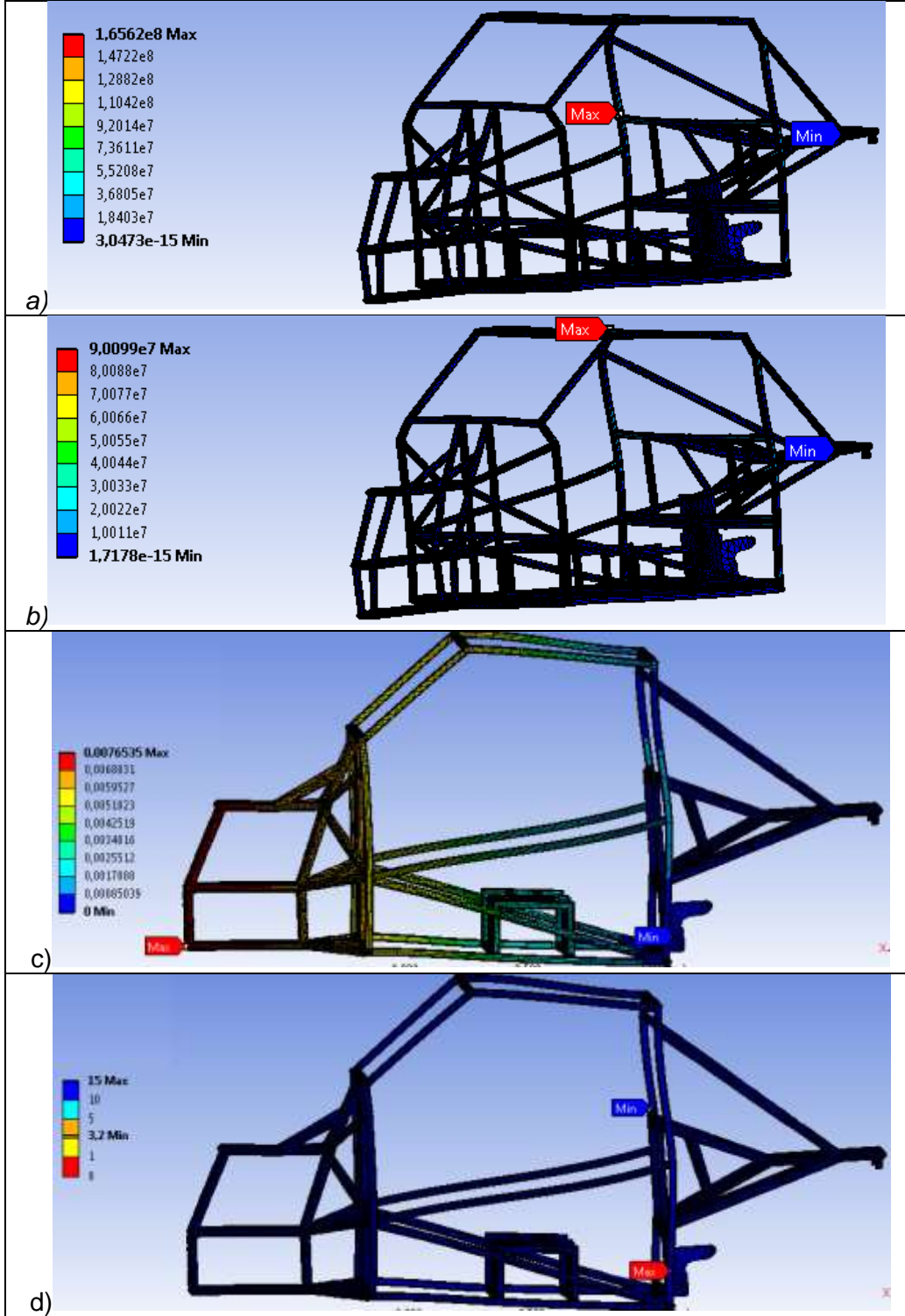


Şekil 79. Şasi üstüne etki eden kuvvetler

Ön süspansiyon tarafından uygulanan darbe yükü Ansys analiz sonuçları Tablo 21 ile gösterilmektedir. Analiz sonuçlarının gösterimi ve yük altındaki şasi görünümü Şekil 80 ile gösterilmektedir.

Tablo 21. Ön süspansiyon mukavemet analiz sonuçları

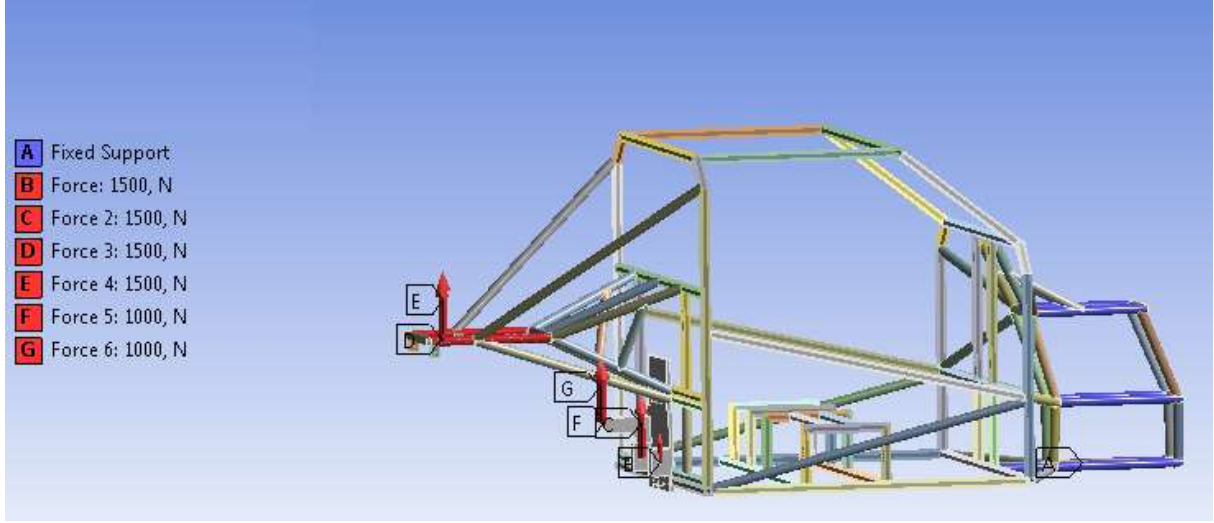
Çözümleme Değerleri	Değerler
Maksimum Eşdeğer Von Mises Gerilimi:	<i>165.6 MPa</i>
Maksimum Kesme Gerilimi:	<i>90 MPa</i>
Toplam Deformasyon(m):	<i>0.0076</i>
Minimum Güvenlik Faktörü:	<i>3.2</i>



Şekil 80. Ön süspanسیون-Şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises Gerilim Dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam Deformasyon Dağılımları, d) Güvenlik Faktörü dağılımları

6.3.3 Arka süspansiyon Tarafında Uygulanan Darbe Yüğü

Yol koşullarında oluşacak darbe yüklerinin arka süspansiyon kolları ve damper üstünde oluşturacağı kuvvet vektörleri şasi üzerinde Şekil 81 ile gösterilmektedir. Süspansiyon noktalarına simetrik olarak varsayılan darbe kuvveti (Toplam: 8000N) uygulanmıştır.

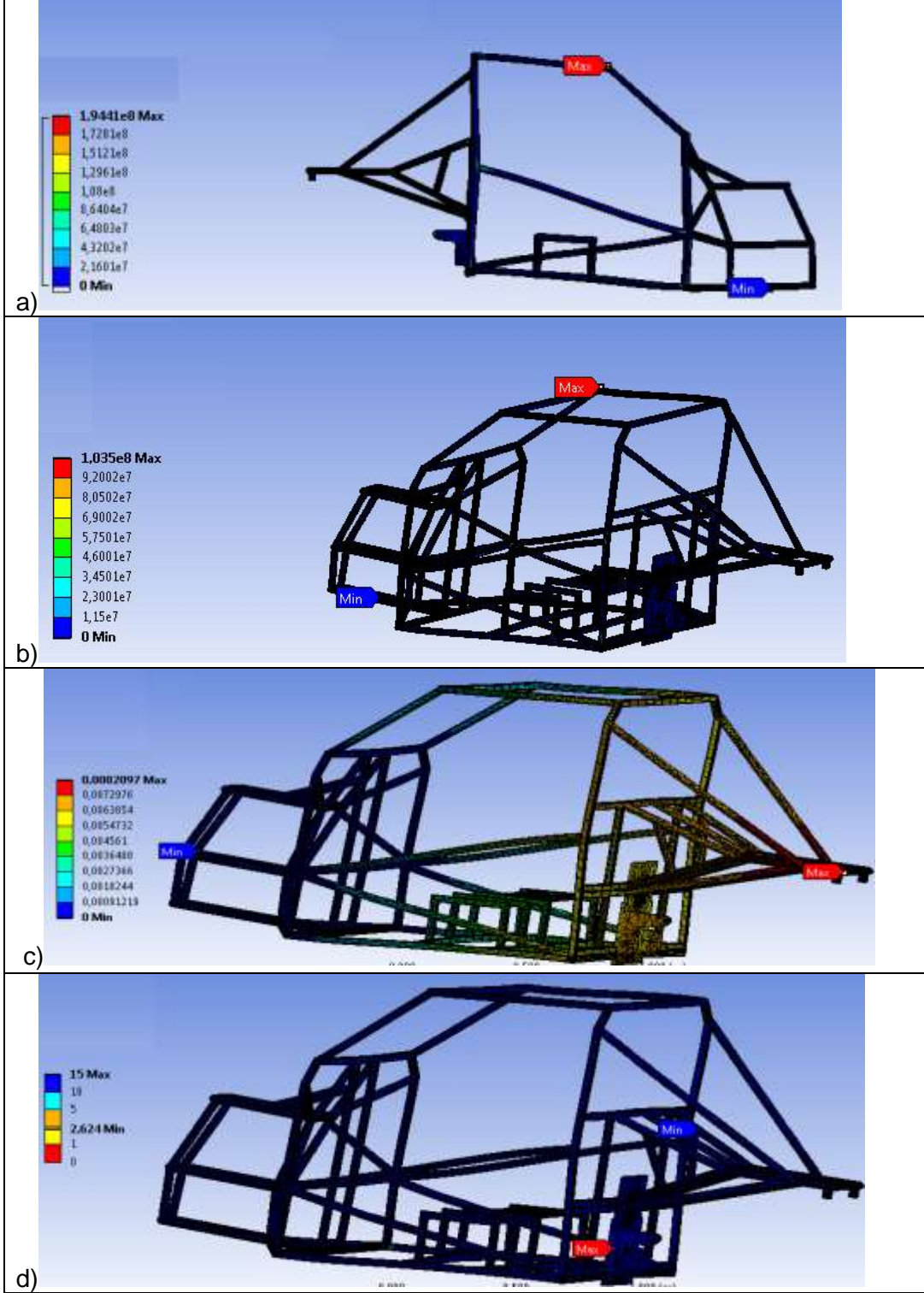


Şekil 81. Şasi arka bölge üstüne etki eden kuvvetler

Arka süspansiyon tarafından uygulanan etki yükü Ansys analiz sonuçları Tablo 22 ile gösterilmektedir. Analiz sonuçlarının gösterimi ve yük altındaki şasi görünümü Şekil 82 ile gösterilmektedir.

Tablo 22. Arka süspansiyon mukavemet sonuçları

Çözümleme Değerleri	Değerler
Maksimum Eşdeğer Von Mises Gerilimi	194.4 MPa
Maksimum Kesme Gerilimi	103.5 MPa
Toplam Deformasyon (m)	0.0082
Minimum Güvenlik Faktörü	2.62



Şekil 82. Arka süspansiyon darbe yükü-şasi üzerindeki a) Eşdeğer Von Mises gerilim dağılımları, b) Maksimum kesme gerilim dağılımları, c) Toplam deformasyon dağılımları, d) Güvenlik faktörü dağılımları

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde şasi üretimi için seçilmiş alüminyum alaşım-6082-t6'nın yine uygun olduğu görülmektedir. Bununla beraber, jant içi elektrik motorları, direksiyon kutusu, koltuklar, batarya paketi, içten yanmalı motor ve bağlantı parçası gibi diğer parçaların entegrasyonu ile beraber üretim sonrası oluşan aracın görünümü Şekil 83, Şekil 84, Şekil 85, Şekil 86 ile gösterilmektedir.



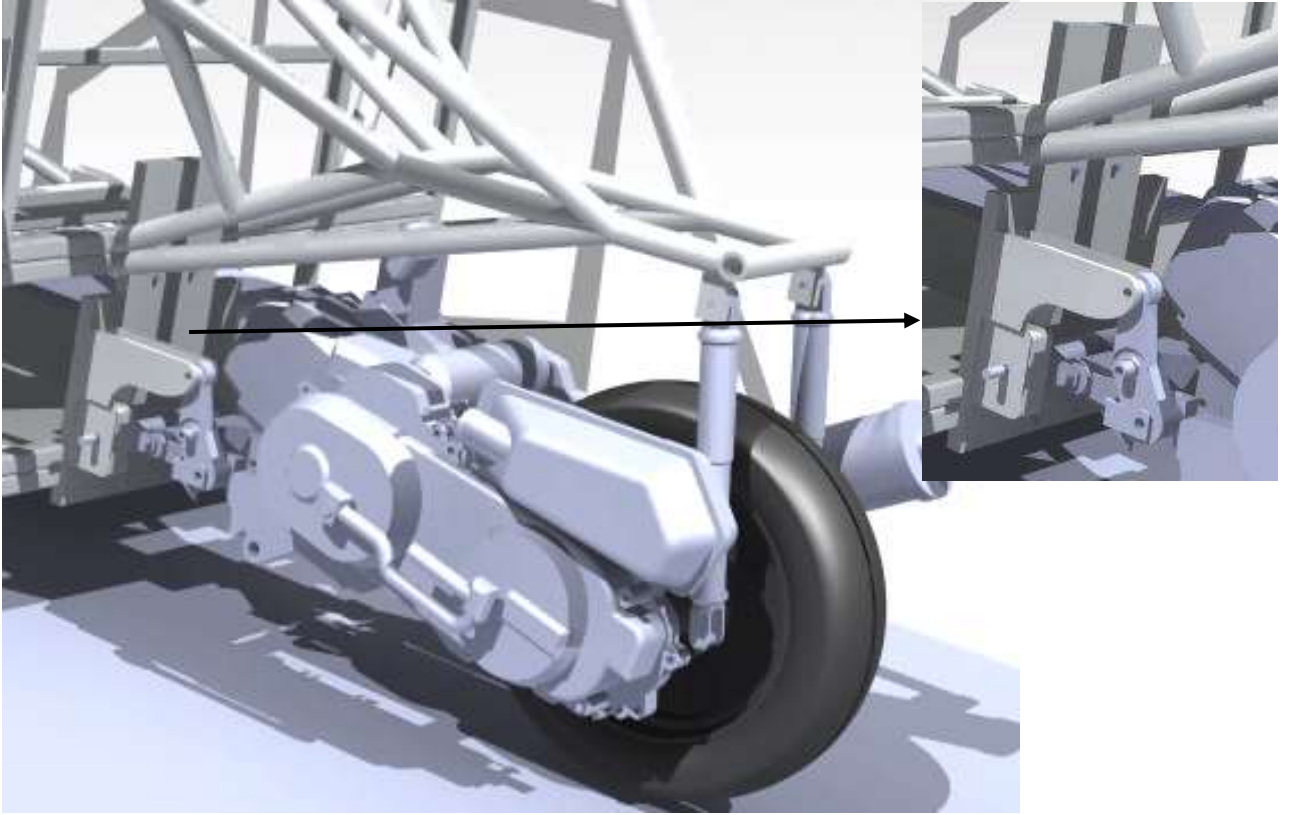
Şekil 83. Araç izometrik görünümü



Şekil 84. Araç önden görünüm



Şekil 85. Araç yandan görünüm

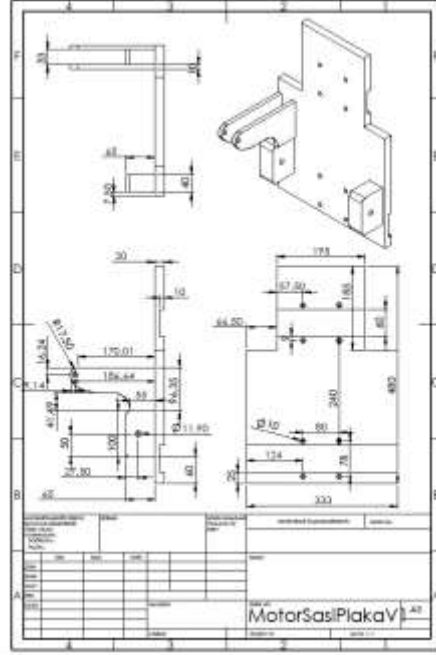


Şekil 86. Araç arka kısım ve bağlantı parçası

6.4 Şasi Üretim Süreci

Şasi üretim süreci büyük oranda Hacettepe Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde Araç Parça Laboratuvarı ve Makine Atölyelerinde yürütülmüştür. Bölüm imkânlarının yetmediği noktalarda hizmet alımları yapılmıştır.

İçten yanmalı motorun şasi bağlantı parçası, tedarik edilen parçaların gelmesinin ardından kaynaklanmaya hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan bağlantı parçası Şekil 87 ile gösterilmektedir.



Şekil 87. Üretilen motor şasi bağlantı parçası ve teknik resmi

Şasi gövdesinin ön ve arka kısmına eklenen boru profil grubu, kaynaklama işlemi için belirlenen ölçülere getirilmiştir. Kesim atölyesinde gerçekleştirilen işlem süreci Şekil 88 ile gösterilmektedir. Şekil 88 ile gösterilen profil boruların kesim işlemi, sanal ortamda hazırlanan teknik resimlere göre gerçekleştirilmiştir. Kaynaklamanın sağlam olması ve ölçü değişikliği yaşanmaması için profiller montaj öncesi atölyede özel kesici uç üretilerek işlenmiştir. Kesici uç ile torna ve freze tezgâhları kullanılarak boru profillere kurt ağızı açılmıştır. İşlenen boru profillerin işleme sürecinden bir kesit Şekil 89 ile gösterilmektedir.



Şekil 88. Teknik resimlere göre orbital boru kesme makinasında kesme işlemi



Şekil 89. Torna ve freze tezgâhında kurt ağızlarının açılması

Torna ve freze tezgâhlarında açılan kurt ağızları teknik resimlere uygun şekilde açılmıştır. Bazı birleşme noktalarının açılı olmasından dolayı açılan kurt ağızları kontrol edilerek gerekli alıştırmalar uygulanmıştır. Üretilen kurt ağızlı parçaların bir kısmı Şekil 90 ile gösterilmektedir.

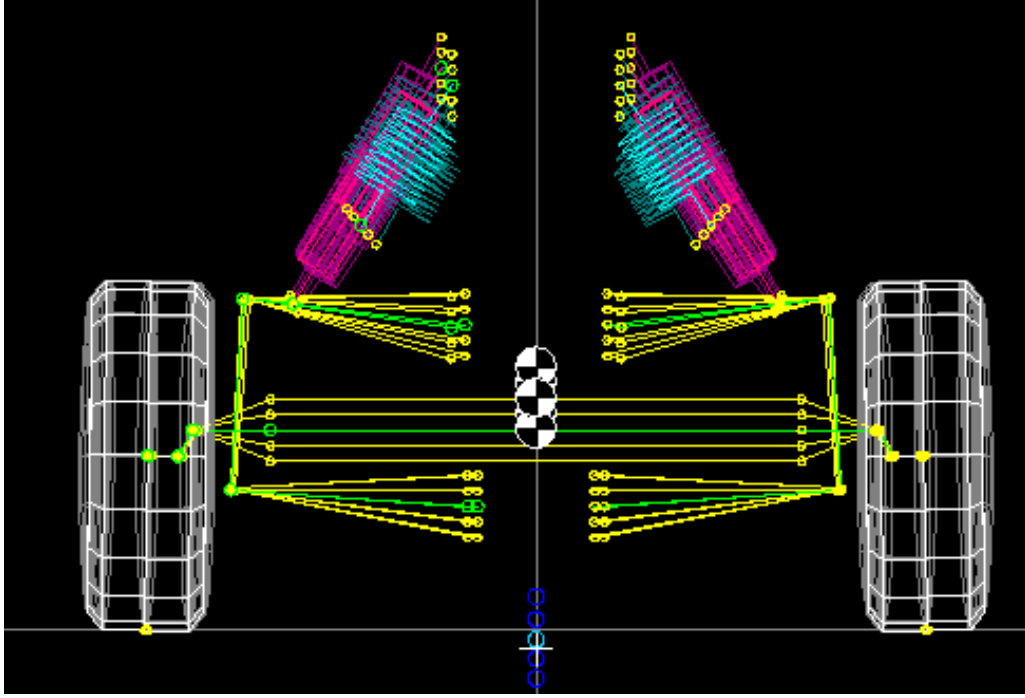


Şekil 90. İşlenen kurtağızlı profil örnekleri

6.5 Süspansiyon Tasarımı

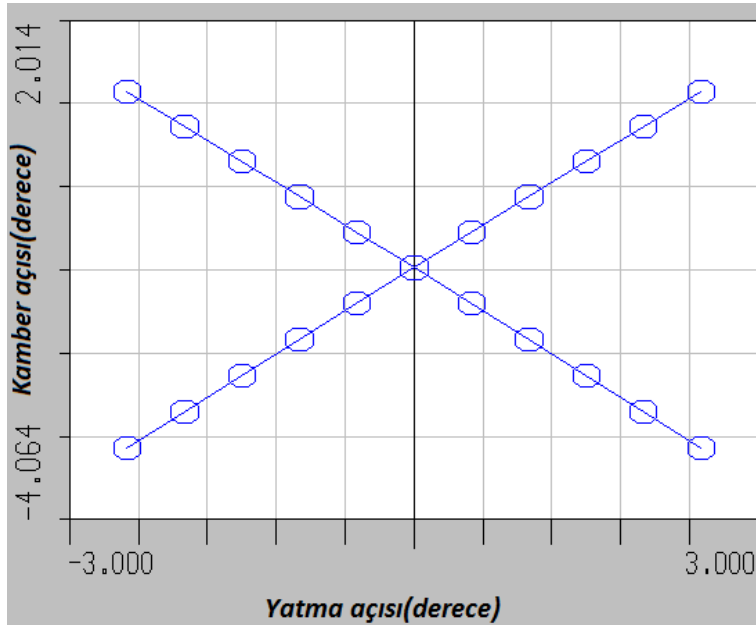
6.5.1 Lotus Yazılımı ile Süspansiyon Analizi

Bu aşamada ön süspansiyon kollarının, yay ve damperlerin ATV yedek parçalarından elde edildiği ve boyutları belli olduğu için bu duruma en uygun kamber, kaster, toe açısı değişim eğrileri tasarlanmıştır. Ön süspansiyon kollarının bağlantı noktalarını ve diğer bileşenlerin buldukları konumlarını eniyilemek için yinelemeli bir çalışma yapılmıştır. Ön süspansiyon parçalarının başlangıç koordinatlarının girilerek oluşturulduğu görsel Şekil 91 ile gösterilmektedir.



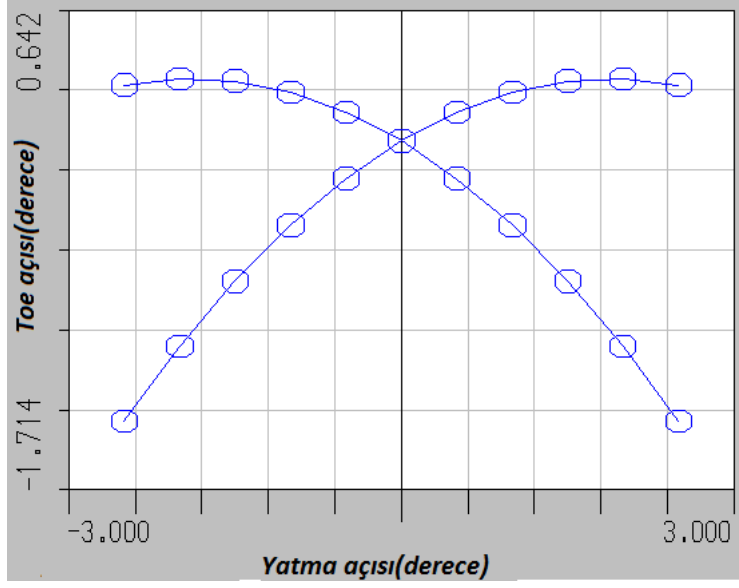
Şekil 91. Süspansiyon sisteminin yaylanma açısına göre kinematik hareketi

Yapılan analizler sonucunda yatma (roll) durumundaki, kamber açısı, toe açısı ve devrilme yüksekliğindeki değişim eğrileri Şekil 92, Şekil 93, Şekil 94 ile gösterilmektedir.



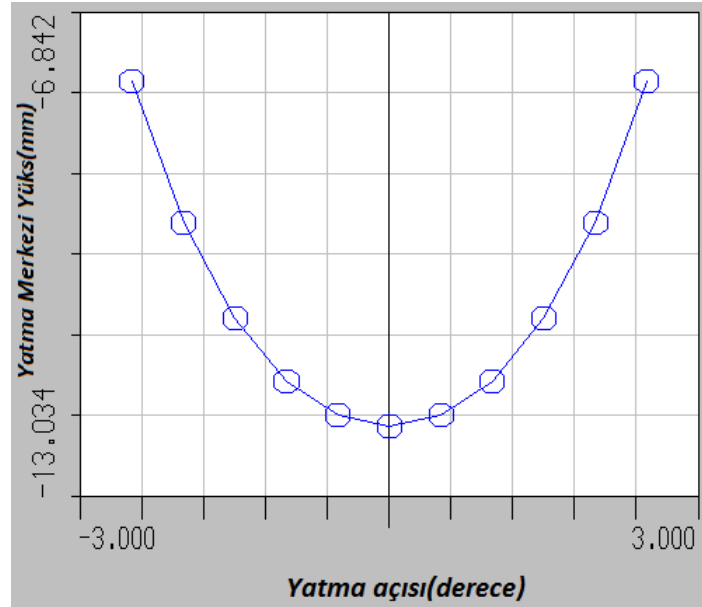
Şekil 92. Yatma durumunda kamber açısı değişimi

Maksimum viraj kuvveti negatif küçük kamber açıları etrafında elde edildiğinden optimizasyon probleminde kamber açısının 0 ile -4° arasında tutulması istenmektedir. Bu sebeple analiz başlangıç parametrelerinde kamber açısı -2 derece olarak ayarlanmıştır. Şekil 92 ile gösterilen grafik, araç -2.5 ile $+2.5$ derece arası yatma eğiliminde bulunurken kamber açısının -4 derece ile $+2$ derece arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 93. Yatma durumunda toe açısı değişimi

Şekil 93 ile gösterilen toe açısının $-1,7^\circ$ ile $0,7^\circ$ arası değiştiği görülmektedir.



Şekil 94. Yatma durumunda devrilme noktası yüksekliğinin değişimi

Bu adımla beraber, kingpin, kamber, toe açıları belirlenerek süspansiyon geometrisine etkisi hesaba katılmıştır. Sanal ortamda belirlenen süspansiyon konumlarına göre süspansiyon tasarımı entegrasyonu gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 95).



Şekil 95. Süspansiyon sisteminin montajı

6.6 Direksiyon Sistemi Tasarımı

Araç direksiyon sistemi tasarımında araç tekerleklerinin maksimum dönme açılarını tespit etmek ve olası tekerlek-şasi çarpışmalarını önlemek önem arz etmektedir. Başka bir deyişle, minimum dönüş yarıçapı sağlanırken (tekerlekler tam sağ ve tam sol konumundayken) tekerleklerin şasiye veya diğer mekanik parçalara çarpmadan hareketinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca, pinyon-kremayer dişli mekanizmasına ve bunlara bağlı rot kollarına gerekli olan hareketi sağlamak için tekerleklerin maksimum dönme açılarının bilinmesi gereklidir; başka bir deyişle, pinyon kremayer sisteminin doğru konumlandırılması ve rot kollarının uzunluklarının tespit edilmesi gerekmektedir.

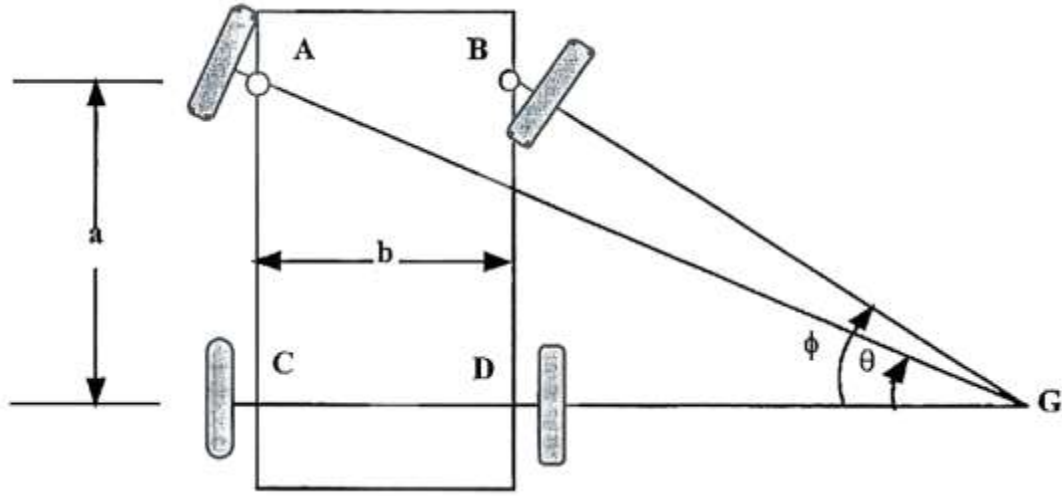
6.6.1 Dönüş Yarıçapı ve Maksimum Tekerlek Dönüş Açılı

Araç için uygun görülen 5500mm dönüş yarıçapına göre oluşan kilitleme açıları Tablo 23 ile verilmektedir.

Tablo 23. Dönüş yarıçapı = 5500 mm için tekerlek kilitleme açıları ve ara hesaplama değerlerini gösteren çizelge

Dingil Mesafesi(a) (mm)	(b) (mm)	Dönme Yarıçapı (mm)	Scrub Radius (e) (mm)	AG (d) (mm)
2169	776	5500	245	525
$\sin(\theta)$	θ (°)(dış teker)	θ (°)(dış teker)	CG (mm)	DG (mm)
0.412	24,3	28,4	4787	4011

6.6.2 Ackerman Hatası



Şekil 96. Geometrik olarak doğru dönüş (Ackerman kuralı)

Ackerman kuralı; geometrik olarak doğru viraj almak için tekerleklerin dönme açılarınının tek bir noktadan geçmesidir. Bu duruma saf dönüş denmektedir. Saf dönüşün geometrik eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$\frac{b}{a} = \cot(\theta) - \cot(\phi) \quad (64)$$

Araçlardaki direksiyon sistemleri bahsettiğimiz Ackerman kuralını tamamen uygulayamamaktadır. Bunu uygulamak geometrik olarak zor bir mekanizma ve fazladan maliyet gerektirmektedir. Bunun yanı sıra Ackerman açıları tamamen olmasa da az hatalarla sağlanabilmektedir. Bu hatalara Ackerman Hatası (Ackerman Error) denmektedir:

$$\text{Ackerman Hatası} = |\theta_{doğru} - \theta_{gerçek}| \quad (65)$$

Mevcut pinyon-kremayer dişli direksiyon kutusu modellenerek Ackerman hatası hesapları oluşturulmuştur. Mevcut sistemde iç tekerleğe 0-30° arasında açılar verilerek diğer tekerleğin Ackerman kuralına ne kadar uyduğu gözlemlenmiştir. Oluşan açılar ve Ackerman hatası Tablo 24 ile gösterilmektedir.

Analizler sonucu, iç teker 30° döndürüldüğü zaman rot kollarının direksiyon kutusu ile yaptığı açılar rot kolunun mekanik olarak yapabileceği limitler içerisinde kaldığı ve aynı zamanda pinyon dişli sisteminin hareket aralığını geçmediği gözlemlenmiştir.

Tablo 24. Tasarlanan pinyon kremayer direksiyon sistemi için dış tekerlek açısı değerleri ve Ackerman hataları

ϕ (Inner wheel)	θ (Theoretical)	θ (Practical)	Ackerman Error
0	0,00	0	0,00
1	0,99	1	-0,01
2	1,98	1,99	-0,01
3	2,94	2,96	-0,02
4	3,90	3,94	-0,04
5	4,85	4,9	-0,05
6	5,78	5,85	-0,07
7	6,71	6,79	-0,08
8	7,62	7,73	-0,11
9	8,52	8,65	-0,13
10	9,42	9,57	-0,15
11	10,30	10,48	-0,18
12	11,17	11,37	-0,20
13	12,04	12,26	-0,22
14	12,89	13,13	-0,24
15	13,74	13,99	-0,25
16	14,58	14,84	-0,26
17	15,41	15,68	-0,27
18	16,23	16,51	-0,28
19	17,04	17,32	-0,28
20	17,85	18,11	-0,26
21	18,65	18,9	-0,25
22	19,44	19,66	-0,22
23	20,23	20,41	-0,18
24	21,01	21,15	-0,14
25	21,78	21,86	-0,08
26	22,55	22,56	-0,01
27	23,31	23,24	0,07
28	24,07	23,9	0,17
29	24,82	24,54	0,28
30	25,57	25,16	0,41

Yapılan hesaplamalara göre direksiyon kutusu ve direksiyon simidinin montajına ait görsel Şekil 97 ile gösterilmektedir.



Şekil 97. Direksiyon sisteminin montajı

6.7 Fren Tertibatı

Mevcut çalışmada, üretilen prototip hibrit aracın ön aksı iki ayrı tekerlek için elektrik motor, arka çekiş ise tek tekerlek üzerinde bulunan içten yanmalı motor ile yapılmaktadır. İçten yanmalı motora ait tekerlek üzerinde motosiklete ait fren tertibatı hazır durumda bulunmaktadır. Ön tarafta bulunan iki ayrı tekerlek üzerinde ise sonradan eklenen ve ATV'lerde kullanılan disk frenler bulunmaktadır. İki ayrı tertibata ait detaylı resimler Şekil 98 ile gösterilmektedir.

Mevcut fren tertibatında, ön ve arka sistemlerin beraber çalışabilmesi için fren merkez silindir üzerinden paylaşırma gerçekleştirilmiştir. Fren merkez silindirinin içinde iki adet piston bulunur. Bu iki piston sayesinde fren merkezinden iki ayrı fren hattı çıkışı elde edilir. Bu doğrultuda, arka fren bağlantısının uzun olması sebebiyle çelik fren hortumu fren merkezi silindire entegre edilmiştir. Elektrik motorlar üzerinde bulunan fren hortumlarında herhangi bir değişiklik yapılmamış ve fren merkezi silindire doğrudan entegre edilmiştir. Böylelikle, ön ve arka fren sistemi tek pedal üzerinden kontrol edilebilmektedir. Mevcut donanımların montajlanması sonrasında nihai prototipe ait görseller Şekil 99 ile gösterilmektedir.



Şekil 98. Kullanılan fren tertibatı a) Fren pedalı b) Fren merkezi (Master Silindir) c) Arka fren hidrolik hattı



Şekil 99. Nihai prototip araç ve çalışma ekibi

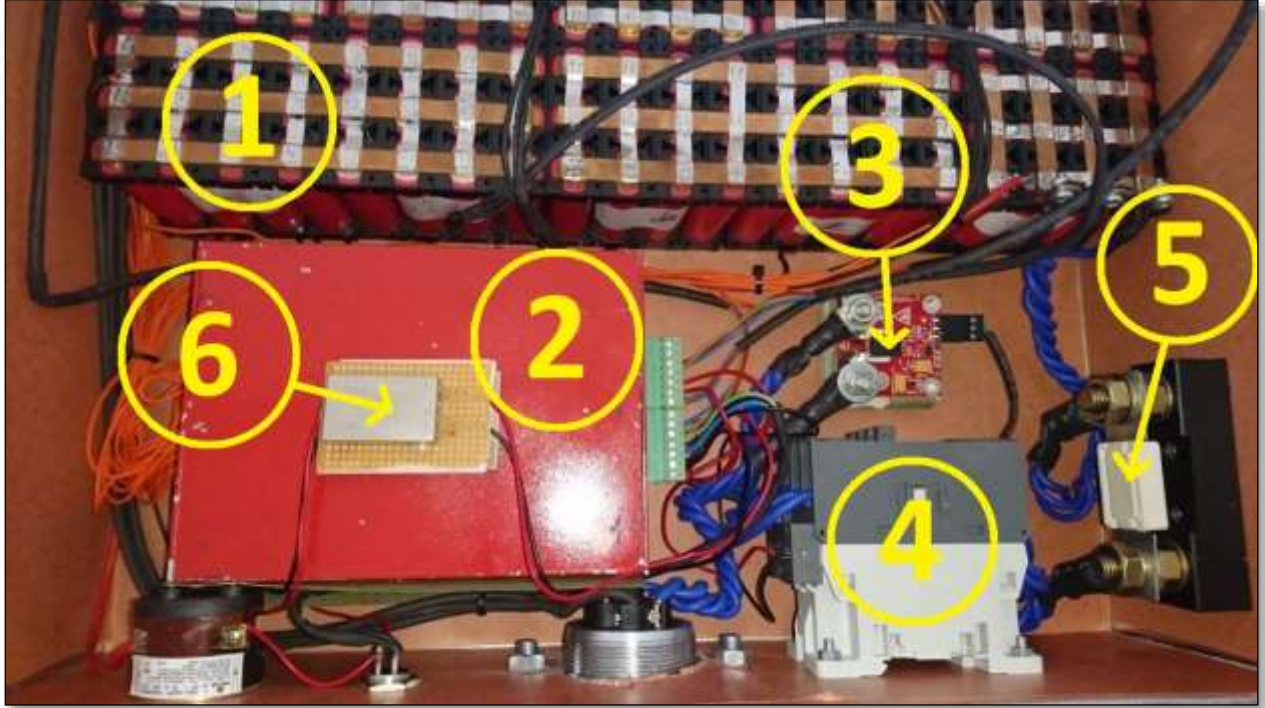
6.8 Çevre Birim Sistemlerinin Tanıtılması

6.8.1 Batarya Sistemi

Projede, 20 seri 12 paralel Panasonic NCR18650BF türü toplam 240 hücre, 72V 40Ah olan lityum iyon batarya paketi kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 100). Tek bir hücreye ait pil özellikleri Tablo 25 ile verilmektedir.

Tablo 25. Tek bir batarya hücresine ait özellikler

Nominal Kapasite	3350mAh
Nominal Voltaj	3.6V
Şarj Voltaj	4.2V
Şarj Akımı	1625mA
Deşarj Akımı	4875mA
Çalışma Sıcaklıkları (Şarj)	0 +45 °C
Çalışma Sıcaklıkları (Deşarj)	-20 +60 °C



Şekil 100. Batarya paketi genel görünümü. 1-Pil hücreleri, 2-BMS, 3-Akım sensörü, 4-Kontaktör, 5-Sigorta, 6-DC-DC konvertör

Batarya yönetim sistemine sahip olan batarya paketi seri iletişim protokolü üzerinden bataryaya ait voltaj, akım, sıcaklık değerlerini yayınlamaktadır. Batarya yönetim sistemi, bataryaya ait

bilgileri aşağıda gösterilen örnek formattaki gibi paylaşmaktadır. Batarya yönetim sisteminin veri taşıma hızı (baudrate) 38400 baud olarak tanımlanmıştır.

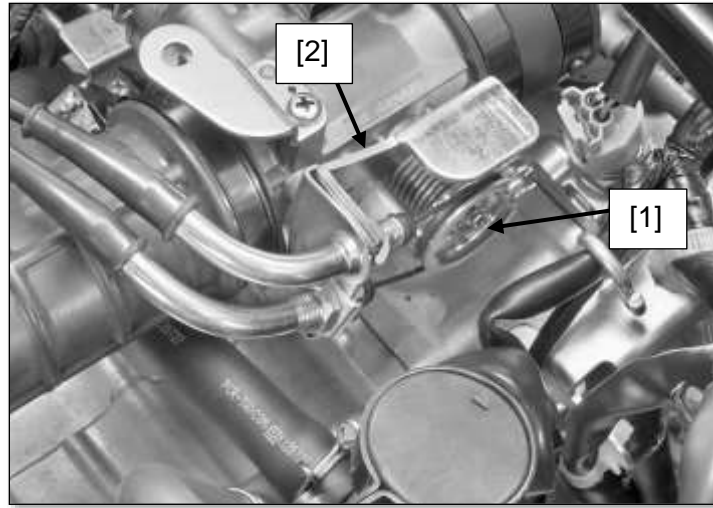
FORMAT:

[BMS_SID, OpCode, DataLength,T1,T2]Checksum<CR><LF>*

Yukarıda paylaşılan formatta <BMS_SID>, bilgisi gönderilen BMS'in ID'si, <OpCode>, operasyon kodu, <DataLength>, veri uzunluğu, <Tn>, sıcaklık değerini temsil etmektedir.

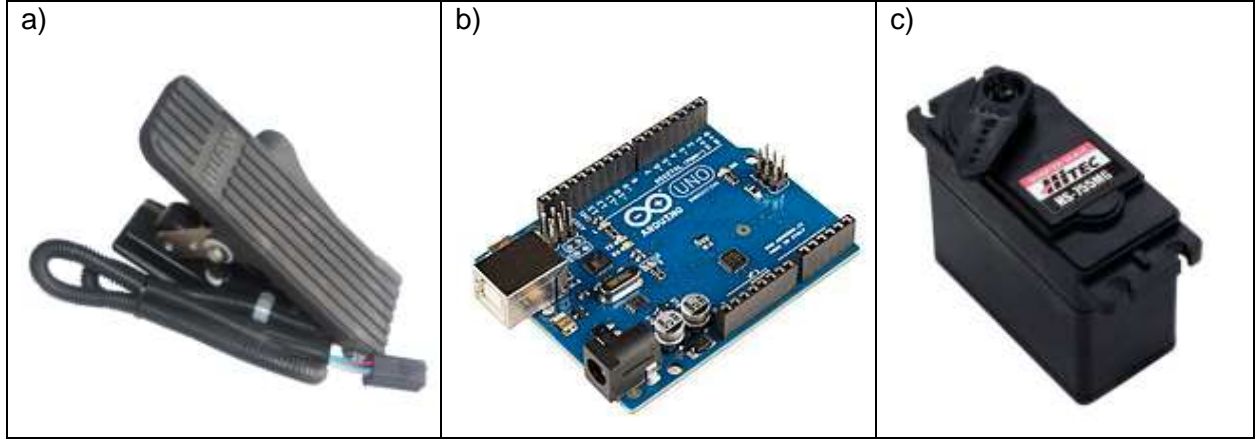
6.8.2 Gaz Kelebeğini Kontrol Eden Servo Motorun Entegrasyonu

İçten yanmalı motorda gaz kelebeği kontrolü normalde tel üzerinden yapılmaktadır. Şekil 101 ile gösterilen gaz kelebeği gövdesinde tel kontrol mekanizması gösterilmektedir. Gaz pedalına bağlı tel, pedal hareketine göre açısal bir hareket yaparak istenilen gaz kelebeği açıklığını sağlamaktadır.



Şekil 101. Gaz keleşek gövdesi 1) Gaz keleşek kontrol aparatı, 2) Tel sabitleme aparatı

Mevcut projede, hibrit kontrol algoritmalarının uygulanabilmesi için telli gaz pedalı yerine elektronik kontrollü bir sistem entegre edilmesi gerekmiştir. Bu sistem için gerekli olan elektronik donanımlar, 0-5V elektronik gaz pedalı, Arduino geliştirme kartı ve servo motor olarak sayılabilir. Çalışmada kullanılan elektronik donanımlara ait görseller Şekil 102 ve araç üstündeki konumlandırılması Şekil 103 ile gösterilmektedir.

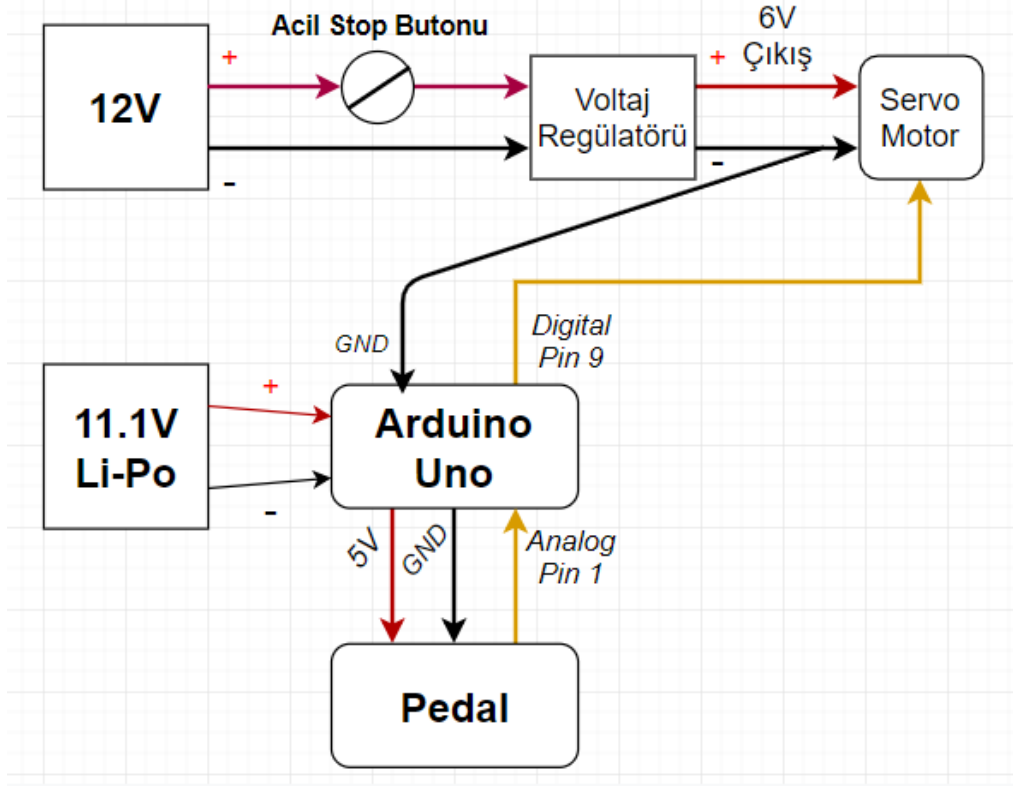


Şekil 102. Kullanılan elektronik donanımlar a) Elektronik gaz pedalı b) Arduino c) Servo motor



Şekil 103. Gaz Kelebeğine servo motor entegrasyonu

Elektronik gaz pedalı, 0-5V arası gerilim değeri üretmektedir. Kullanılan geliştirme kartı pedal tarafından üretilen sinyali alarak servo motorun kullanabileceği sinyal dalgasına dönüştürmektedir. Kullanılan devre şeması Şekil 104 ile gösterilmektedir. Kullanılan devrede, güvenlik amaçlı acil durum butonu konulmuştur.



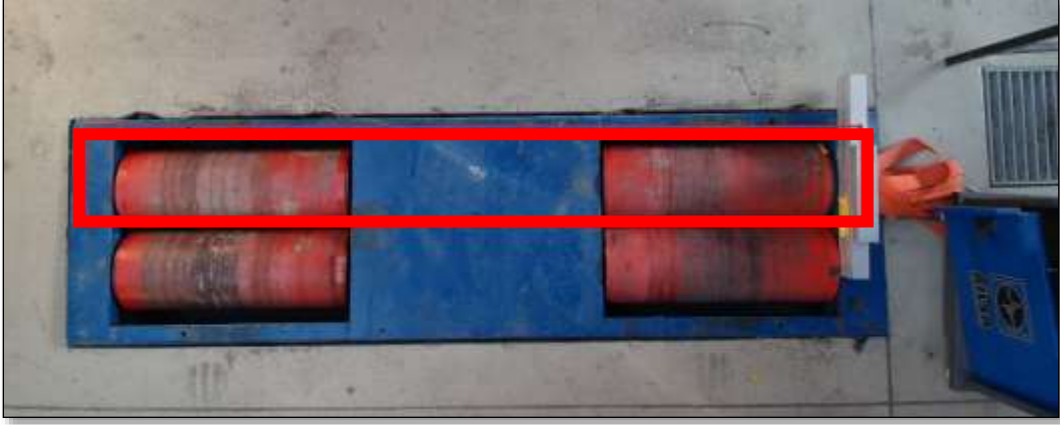
Şekil 104. Elektronik gaz pedalı devre şeması

Kurulan elektronik gaz pedalı tertibatı sayesinde içten yanmalı motorun sabit gaz pedalı konumlarında performans grafikleri elde edilmiştir. Ancak hibrit taşıt uygulamasında, pedal tarafından üretilen sinyal Arduino geliştirme kartı yerine hibrit ana kontrolcüsüne (MicroAutoBox II) girdi olarak verilmiştir. Ana kontrolcü hibrit algoritma doğrultusunda değerlendirme yaptıktan sonra servo motora hesaplanan sinyali göndermektedir. Hibrit uygulamada kullanılan bu devre şeması Bölüm 6.8.3.3 ile detaylı olarak anlatılmaktadır.

6.8.3 Veri Toplama Sistemi

6.8.3.1 Dinamometre Tanıtımı

Mevcut çalışmada, üretilen ayrık akstan hibrit araçta kullanılan elektrik ve içten yanmalı motorlara ait performans verilerinin (Tork haritası, Motor verimi, Yakıt haritası, şanzıman oranları vb.) oluşturulmasında ve hibrit algoritmalarının gerçek ortamda sınanmasında şasi dinamometresi kullanılmıştır. Hacettepe Üniversitesi Makine Müh. Otomotiv Laboratuvarındaki şasi dinamometresinde her biri 250 kg ve 250mm çapında olan dört adet silindir bulunmaktadır (Bkz. Şekil 105). Bu dört silindirin ikisi birbirine şaft ile bağlıdır.



Şekil 105. Şasi dinamometresinin üstten görünüşü. (Kırmızı: Şaft ile birbirine bağlı silindirler)
 Dinamometrede, uygulanan torkun tespit için, taşıtın kinetik enerjisini simüle eden silindirlerin ivmelenmesi ve hızlanma süreleri üzerinden uygulanan torkun hesaplanmasına dayalı bir yöntem izlenmektedir. Silindir hızlarını ölçmek için 100 puls/devir çözünürlüğünde döner enkoder kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 106). Elde edilen verilerin işlenmesi aşağıda verilen denklemlerle ifade edilmektedir:

$$\text{Enerji Değişimi: } \Delta E = \frac{1}{2} I (w_{\text{silindir,ilk}}^2 - w_{\text{silindir,son}}^2) \quad (66a)$$

$$\text{Güç: } P = \frac{\Delta E}{dt} \quad (66b)$$

$$\text{Tork: } T = \frac{P}{w_{\text{silindir}}} \quad (66c)$$

Yukarıdaki denklemlerde yer alan silindir açısal hızı (w_{silindir}) [rad/sn], dt , silindir hızının toplanma periyodu saniye, güç (P) watt, $Tork: T$ [Nm] olarak ifade edilmiştir. İçi dolu silindirlere ait atalet momenti aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

	Puls/devir sayısı	100
	Çalışma Voltajı	7V – 30 V
	Çalışma Sıcaklığı	-20 – 85 °C

Şekil 106. Kullanılan enkoder görseli ve özellikleri (SICK DBS50E-S5EK00100)

$$\text{Atalet Momenti: } I = \frac{1}{2}mr^2 \quad (67)$$

$$I = \frac{1}{2}250kg(0.125)^2m^2 = 1.95 \text{ } kgm^2 \text{ (Bir adet silindir)}$$

$$\text{Toplam} = 4 * 1.95 \text{ } kgm^2 = 7.81 \text{ } kgm^2$$

Taşıtın kinetik enerjisi üzerinden, kullanılan silindirlerin hangi kütledeki aracı simule ettiği hesaplaması aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{2}IW_{silindir}^2 = \frac{1}{2}mV_{araç}^2 \quad (68a)$$

$$V_{araç} = w_{tekerlek} \times r_{tekerlek} \quad (68b)$$

$$w_{tekerlek} = \frac{w_{silindir}r_{silindir}}{r_{tekerlek}} \quad (68c)$$

Denklem 68a Denklem 68c ile birleştirildiğinde dört silindirin de aktif olduğu varsayılarak aşağıdaki hesaplama yapılmaktadır.

$$\frac{1}{2}IW_{silindir}^2 = \frac{1}{2}mw_{silindir}^2r_{silindir}^2 \quad (69)$$

m : Araç kütlesi,

$$r_{silindir}: \text{Silindir yarıçapı} = 0.125m$$

$$r_{tekerlek}: \text{Tekerlek yarıçapı} = 0.25m$$

Bu doğrultuda, mevcut ölçülere göre dinamometre üzerinde 500 kg'lık bir taşıtın ataletsel simülasyonu yapılabilmektedir.

6.8.3.2 dSPACE MicroAutoBox II Mikro Denetleyici

Hibrit araç uygulaması için uygulanan tüm deneyler, içerisinde mikro denetleyici bulunduran Dspace MicroAutoBox II donanımı tarafından gerçekleştirilmektedir (Bkz. Şekil 107). MicroAutoBox II donanımı analog sinyal girdi/çıkışı, dijital sinyal girdi/çıkışı, CAN Bus, RS232 hattı bulunmaktadır.

MicroAutoBox II, Matlab/Simulink ortamında gerçek-zamanlı ara yüz kütüphanesi kullanılarak programlanabilmektedir. Donanım ve programlanan algoritmanın gözlemlenmesi dSPACE ControlDesk arayüz programı tarafından gerçekleştirilmektedir. Arayüz programı, Simulink içerisinde kurgulanmış gerçek-zamanlı girdi ya da çıktı sinyallerinin akışını göstermektedir. MicroAutoBox II ve gözlem yapılan bilgisayar arasında bağlantı tipi Ethernet TCP/IP protokolü

üzerinden yapılmaktadır. Girdi ve çıktı sinyalleri donanım üzerinde bulunan konektör (ZIF) ile sağlanmaktadır. Konektör ve üzerinde bulunan pinlere ait sinyal bilgileri Şekil 108 ile gösterilmektedir.



Şekil 107. MicroAutoBox II mikro denetleyici

Mevcut çalışmada, MicroAutoBox II donanımı enerji yönetim algoritmalarının hazırlanmasında ve elektrik motoru, batarya ve içten yanmalı motor üzerinde bulunan sensör ve aktüatörlerin yönetiminde kullanılmaktadır. MicroAutoBox II tarafından kullanılan sinyaller ve elde edilen veri setleri Tablo 26 ile verilmektedir.

Tablo 26. Kullanılan ekipmanlar ve sinyaller

Veri Tipi	Bulunduğu Konum	Kullanılan Donanım	Kullanılan Sinyal/dSPACE Pin
Motor Hızı	İçten Yanmalı Motor	İndüktif (CKP Sensör)	Dijital Pin-Girdi /DigP 1 ch 1-in
Teker Hızı	İçten Yanmalı Motor	İndüktif (Hız Sensör)	Dijital Pin-Girdi /DigP 1 ch 2-in
Gaz Kelebeği Açısı	İçten Yanmalı Motor	Servo Motor	Analog Pin-Çıktı/(Analog ch 1-out
Teker Hızı	Elektrik Motor	İndüktif-(Sonradan Entegre)	Dijital Pin-Girdi /DigP 1 ch 3-in
Rejeneratif fren- Anahtarlama	Elektrik Motor	MicroAutoBox II	Dijital Pin-Çıktı /Analog ch 2-out
Çekiş-Voltaj Komutu	Elektrik Motor	MicroAutoBox II	Analog Pin-Çıktı/Analog ch 3-out
Rejeneratif-Voltaj Komutu	Elektrik Motor	MicroAutoBox II	Analog Pin-Çıktı/Analog ch 4-out
Voltaj Değeri	Batarya	Batarya Yönetim Sistemi	Seri Haberleşme Pin-Girdi/Serial 1 Rx-Tx)
Akım Değeri	Batarya	Batarya Yönetim Sistemi	Seri Haberleşme Pin-Girdi/Serial 1 Rx-Tx)
Gaz Pedalı	Sonradan Entegre	Potansiyometre	Analog Pin-Girdi/Analog ch 1-in

1	2	3	4	5	6							
GND	in	CAN 4 high	i/o	CAN 4 low	i/o	GND	in	Serial 4 K / LIN ¹⁾	i/o	Serial 4 L ¹⁾	in	A
GND	in	CAN 3 high	i/o	CAN 3 low	i/o	GND	in	Serial 3 TXD ¹⁾	out	Serial 3 RXD ¹⁾	in	B
GND	in	DigP 1 ch 5 ²⁾	out	DigP 1 ch 10	out	DigP 1 ch 15	out	DigP 2 ch 4	out	GND	in	C
GND	in	DigP 1 ch 4	out	DigP 1 ch 9	out	DigP 1 ch 14	out	DigP 2 ch 3	out	DigP 2 ch 8	out	D
GND	in	DigP 1 ch 3	out	DigP 1 ch 8	out	DigP 1 ch 13	out	DigP 2 ch 2	out	DigP 2 ch 7	out	E
GND	in	DigP 1 ch 2	out	DigP 1 ch 7	out	DigP 1 ch 12	out	DigP 2 ch 1	out	DigP 2 ch 6	out	F
GND	in	DigP 1 ch 1	out	DigP 1 ch 6	out	DigP 1 ch 11	out	DigP 1 ch 16	out	DigP 2 ch 5	out	G
GND	in	DigP 1 ch 5	in	DigP 1 ch 10	in	DigP 1 ch 15	in	DigP 2 ch 4	in	GND	in	H
GND	in	DigP 1 ch 4	in	DigP 1 ch 9	in	DigP 1 ch 14	in	DigP 2 ch 3	in	DigP 2 ch 8	in	J
GND	in	DigP 1 ch 3	in	DigP 1 ch 8	in	DigP 1 ch 13	in	DigP 2 ch 2	in	DigP 2 ch 7	in	K
GND	in	DigP 1 ch 2	in	DigP 1 ch 7	in	DigP 1 ch 12	in	DigP 2 ch 1	in	DigP 2 ch 6	in	L
VSSENS	out	DigP 1 ch 1 ²⁾	in	DigP 1 ch 6	in	DigP 1 ch 11 ²⁾	in	DigP 1 ch 16	in	DigP 2 ch 5	in	M
VDRIVE	in	CAN 6 high	i/o	CAN 6 low	i/o	GND	in	Serial 6 K / LIN ¹⁾	i/o	Serial 6 L ¹⁾	in	N
●												
VBAT prot	out	CAN 5 high	i/o	CAN 5 low	i/o	GND	in	Serial 5 TXD ¹⁾	out	Serial 5 RXD ¹⁾	in	P
REMOTE	in	GND	in	GND	in	GND	in	GND	in	GND	in	R
GND	in	AnalogOut ch 8	out	AnalogIn ch 4	in	AnalogIn ch 8	in	AnalogIn ch 12	in	AnalogIn ch 16	in	S
GND	in	AnalogOut ch 7	out	AnalogIn ch 3	in	AnalogIn ch 7	in	AnalogIn ch 11	in	AnalogIn ch 15	in	T
GND	in	AnalogOut ch 6	out	AnalogIn ch 2	in	AnalogIn ch 6	in	AnalogIn ch 10	in	AnalogIn ch 14	in	U
GND	in	AnalogOut ch 5	out	AnalogIn ch 1	in	AnalogIn ch 5	in	AnalogIn ch 9	in	AnalogIn ch 13	in	V
GND	in	AnalogOut ch 4	out	Analog ch 4	in	Analog ch 8	in	Analog ch 12	in	Analog ch 16	in	W
GND	in	AnalogOut ch 3	out	Analog ch 3	in	Analog ch 7	in	Analog ch 11	in	Analog ch 15	in	X
GND	in	AnalogOut ch 2	out	Analog ch 2	in	Analog ch 6	in	Analog ch 10	in	Analog ch 14	in	Y
GND	in	AnalogOut ch 1	out	Analog ch 1	in	Analog ch 5	in	Analog ch 9	in	Analog ch 13	in	Z
GND	in	SGND	in	Ana trigger 1	in	Ana trigger 2	in	Ana trigger 3	in	Ana trigger 4	in	a
GND	in	CAN 2 high	i/o	CAN 2 low	i/o	GND	in	Serial 2 K / LIN ¹⁾	i/o	Serial 2 L ¹⁾	in	b
GND	in	CAN 1 high	i/o	CAN 1 low	i/o	GND	in	Serial 1 TXD ¹⁾	out	Serial 1 RXD ¹⁾	in	c

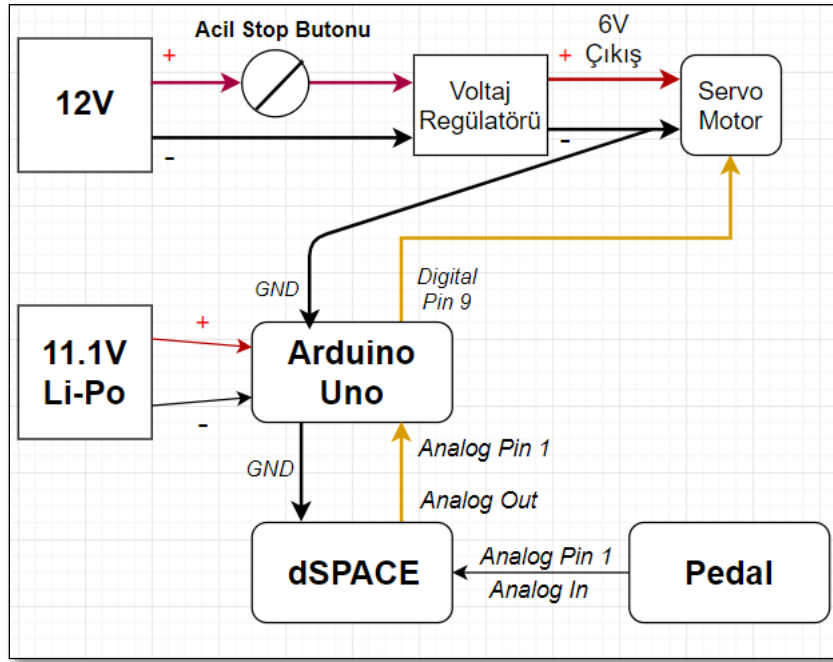
Şekil 108. MicroAutoBox II konektör şeması

6.8.3.3 İçten Yanmalı Motora ait Sensör ve Donanım Bilgisi

Projede, arka tekerleğin tahriki için kullanılacak içten yanmalı motor Honda NSS300 Forza motosiklet üzerinden tedarik edilmiştir. Mevcut motor 280 cc 19 kW tek silindirli programlı yakıt enjeksiyon sistemine ve elektronik kontrol ünitesine sahiptir.

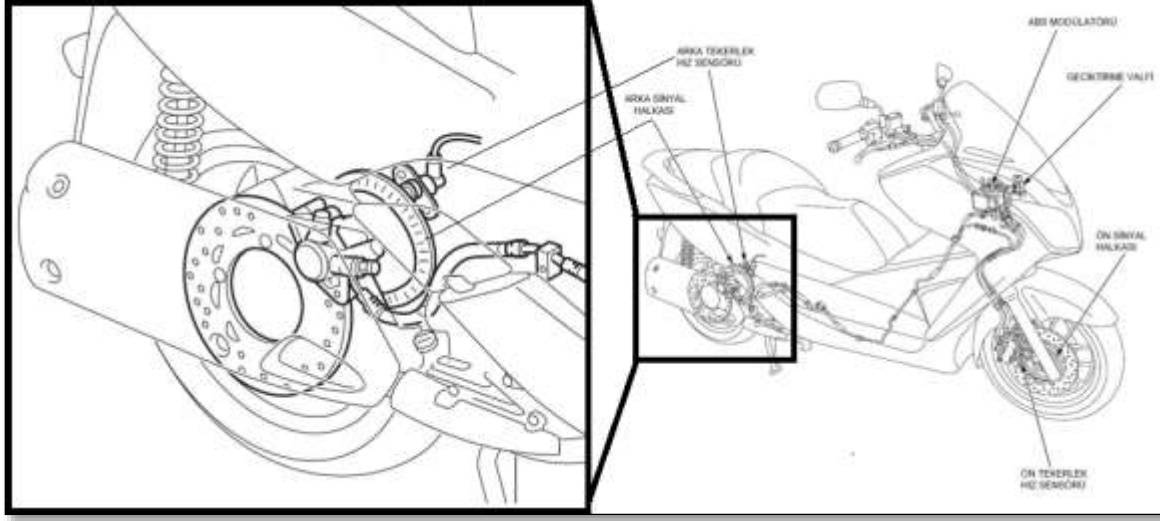
Hibrit enerji yönetim sistemi algoritmalarının yürütülebilmesi için içten yanmalı motordan gerekli sinyaller (Motor devri, yakıt miktarı, Kelebek açısı vb.) alınarak ana hibrit kontrol ünitesine verilebilmektedir. Bu bağlamda, içten yanmalı motorun gaz kelebeği ayarı MicroAutoBox II tarafından sağlanabilmektedir. Böylelikle, gaz pedalından gönderilen komut, MicroAutoBox II donanımında kodlanan algoritma tarafından değerlendirilerek analog sinyal çıktısı kullanılarak gerekli donanımlara gönderilebilmektedir.

Sadece gaz pedalıyla kullanılan gaz pedalı entegrasyonunda Arduino geliştirme kartı kullanılmıştır (Bkz. Şekil 104). Mevcut sistem bozulmayarak, MicroAutoBox II ve Arduino donanımları entegre edilmiştir. Veri toplama sisteminde içten yanmalı motora ait gaz kelebeği açısı kontrolü devre şeması Şekil 109 ile gösterilmektedir.



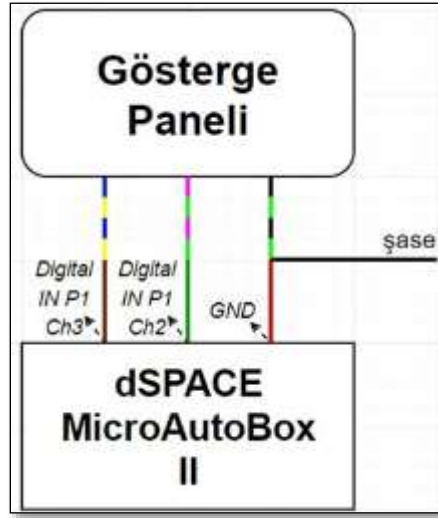
Şekil 109. Gaz kelebeği ayarı için MicroAutoBox II donanımı ile kurulan sistemin devre şeması

İçten yanmalı motordan anlık olarak motor ve araç hızı verilerinin alınması 'VS sensörü' ve takometre yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu sistemde tekerlek üzerinde bulunan 60 tırtıklı 'VS sensörü' kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 110).



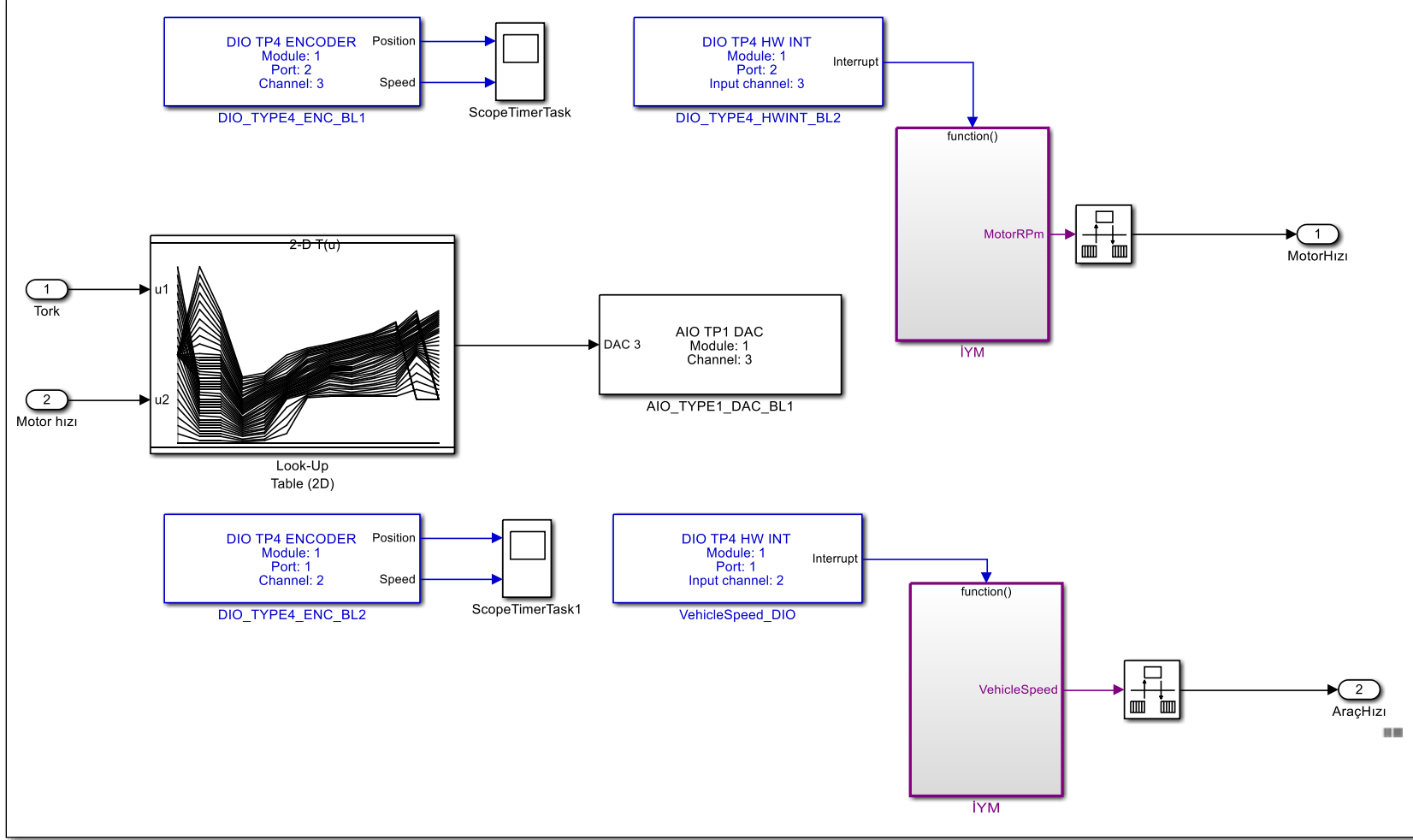
Şekil 110. VS sensörünün motor üzerinde konumlandırılması

Takometreden veri alabilmek için gösterge paneline giden hattan paralel hat çekilmiştir. Gösterge paneli üzerindeki motor hızı ve araç hızı bilgilerini taşıyan sinyal hattı üzerinden MicroAutoBox II donanımındaki dijital girdi pinlerine bağlantı yapılmaktadır (Bkz. Şekil 111).



Şekil 111. Gösterge panelindeki VS sensörü ve takometre paralel hat bağlantı şeması

İçten yanmalı motora ait motor hızı, araç hızı bilgileri ve gaz kelebeği açısı komutu için MATLAB/Simulink ortamında MicroAutoBox II donanımına ait kütüphaneden yararlanılmaktadır. Kütüphane içerisinde kullanılan sensörlere uygun araçlar seçilerek donanımların haberleştirilmesi sağlanmaktadır. Motor hızı ve araç hızı elde edilmesi için dijital girdi bloğu, gaz kelebeği açısı komutu içinse analog çıktı bloğu kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 112).



Şekil 112. Motor hızı, araç hızı ve gaz kelebeği açısı komutu sinyallerinin elde edilmesi

MicroAutoBox II donanımı ve içten yanmalı motora ait sensör seti arasında kurulan bağlantı pin bilgisi Tablo 27 ile verilmektedir.

Tablo 27. İçten yanmalı motora ait sensör pin bilgisi

Sinyal İsmi	MicroAutoBox II Pini	MicroAutoBox II Kablo Rengi	MicroAutoBox II Pin Konumu	Dişi/Erkek Soket Kablo Rengi	
İYM Tekerlek/Araç Hızı	Dijital IN P1 Ch2	Yeşil - 2	L2	Yeşil	Sarı
İYM Motor Hızı	Dijital IN P2 Ch3	Kahverengi - 2	J5	Kahve	Turuncu
İYM Gaz Pedalı	Analog OUT Ch3	Siyah - 2	X2	Siyah	Kırmızı
İYM GND	GND	Kırmızı - 2	B1	Turuncu	Siyah
İYM GND	GND	Beyaz - 2	C1	Sarı	Beyaz/Sarı

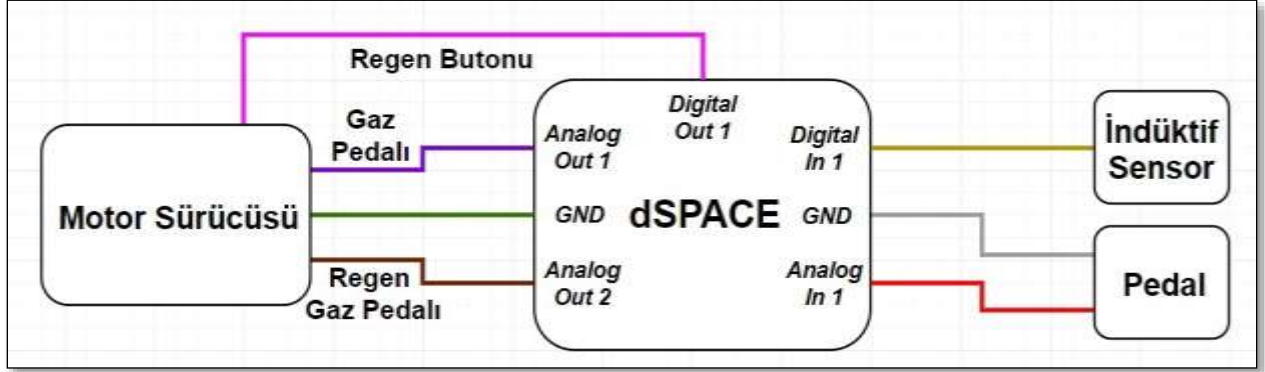
6.8.3.4 Elektrik Motora ait Sensör ve Donanım Bilgisi

Projede önce Ege Dinamik'ten tedarik edilen 1 kW'lık motorlar denenmiş ancak güç isterlerinin sağlanmaması nedeniyle QS BLDC motorlar kullanılmıştır. Bu motorlar outrunner olarak çalışmaktadır yani rotor bölümü sabit, stator bölümü ise rotor etrafında dönmektedir. Motorlar 72 Volt ile çalışmakta olup nominal güç değeri 1 kW'dır. Motorların yüksüz durumda maksimum devri 700 rpm, verebileceği maksimum tork değeri ise 110 N.m'dir. Maksimum akım değeri ise 55 Amper'dir. Ayrıca motorlar disk fren ile kullanılmaktadır. Kullanılan motorlara ait görsel Şekil 113 ile verilmektedir.



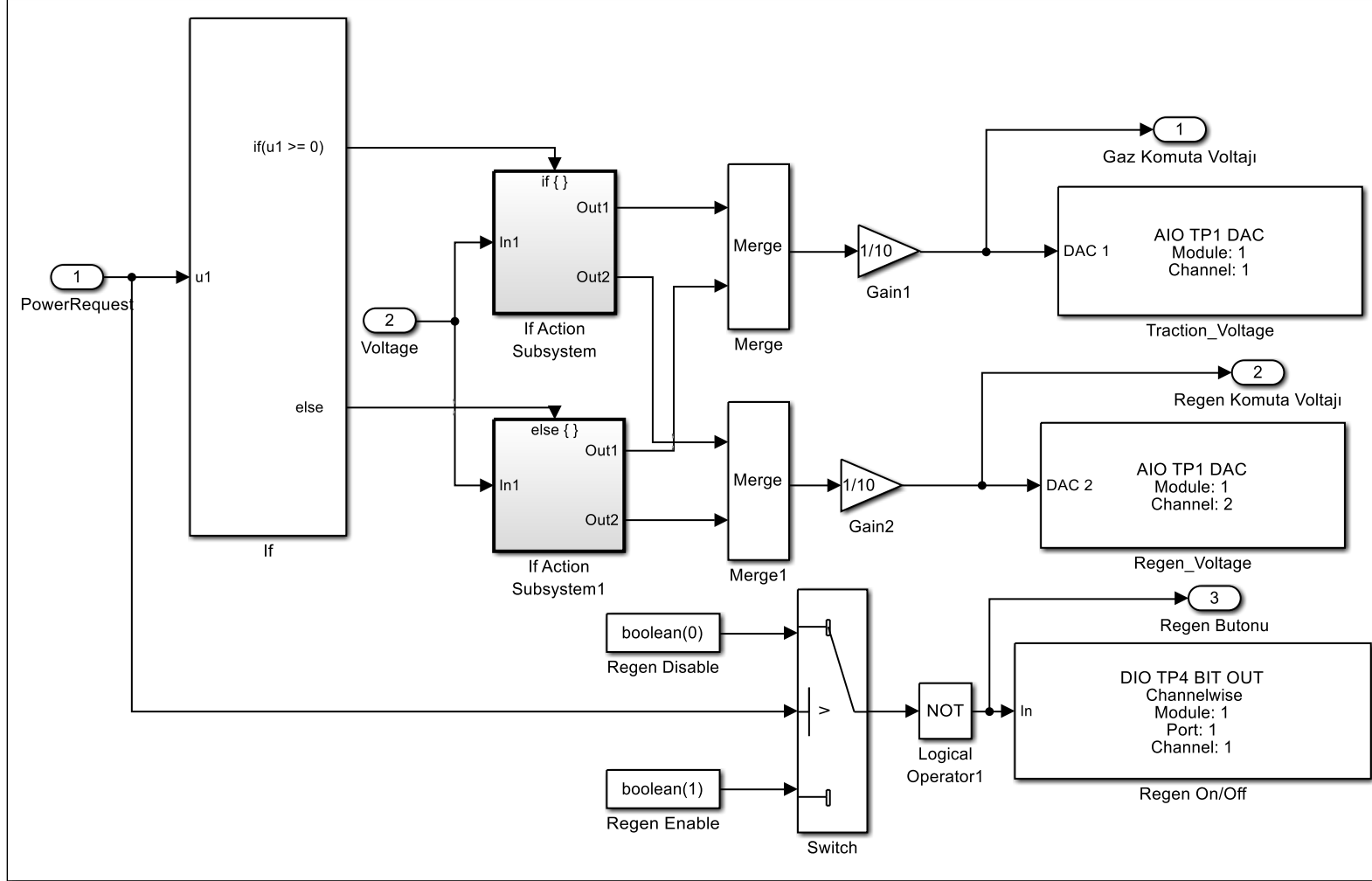
Şekil 113. Proje kapsamında kullanılan QS elektrik motorları

İçten yanmalı motorda olduğu gibi elektrik motorunun hareketi için oluşturulan komuta voltajı MicroAutoBox II donanımı tarafından sağlanabilmektedir. Bu bağlamda, komuta voltajı dışında hibrit algoritmaları ve karakterizasyon çalışmalarını yürütebilmek için rejeneratif fren komutu ve motor hızı bilgileri MicroAutoBox II donanımı tarafından kontrol edilebilmektedir. Veri toplama sisteminde elektrikli motora ait verilerin elde edilmesi için kurulan devre şeması Şekil 114 ile gösterilmektedir.

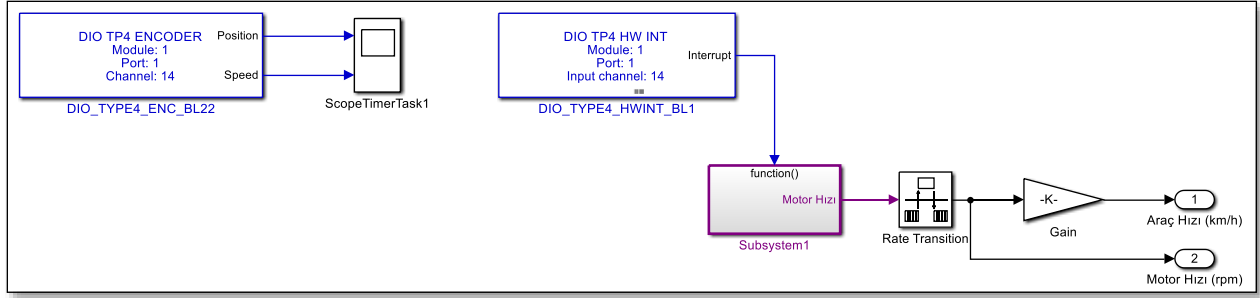


Şekil 114. Elektrik motoruna ait sensör ve donanımların MicroAutoBox II ile olan devre şeması

Elektrik motora ait motor hızı, araç hızı bilgileri, rejeneratif fren aktivasyonu, fren ve gaz komuta voltajı için MATLAB/Simulink ortamında MicroAutoBox II donanımına ait kütüphaneden yararlanılmaktadır. Kütüphane içerisinde kullanılan sensörlere uygun araçlar seçilerek donanımların haberleştirilmesi sağlanmaktadır. Motor ve araç hızı elde edilmesi için dijital girdi bloğu, rejeneratif fren aktivasyonu için dijital çıktı bloğu, fren ve gaz komuta voltajı içinse analog çıktı bloğu kullanılmaktadır. Rejeneratif fren aktivasyonu, fren ve gaz komuta voltajı için kurulan Simulink blok diyagramı Şekil 115, motor ve araç hızı için kurulan Simulink blok diyagramı ise Şekil 116 ile gösterilmektedir.



Şekil 115. Rejeneratif fren aktivasyonu, fren ve gaz komuta voltajı Simulink blok diyagramı



Şekil 116. Motor ve araç hızı Simulink blok diyagramı

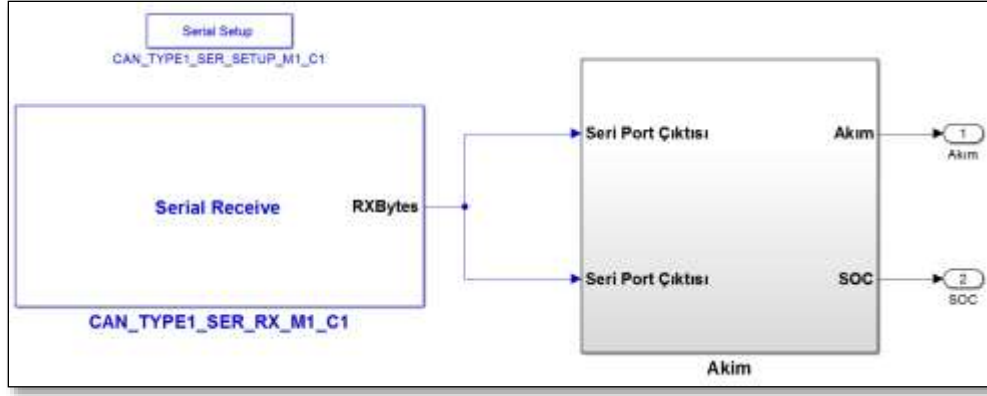
MicroAutoBox II donanımı ve elektrik motora ait sensör seti arasında kurulan bağlantı pin bilgisi Tablo 28 ile verilmektedir.

Tablo 28. Elektrik motora ait sensör pin bilgisi

Sinyal İsmi	MicroAutoBox II Pini	MicroAutoBox II Kablo Rengi	MicroAutoBox II Pin Konumu	Dişi/ Erkek Soket Kablo Rengi	
EM Gaz Pedalı	Analog OUT Ch1	Mor - 1	Z2	Mor	Beyaz
EM Regen Gaz Pedalı	Analog OUT Ch2	Kahve - 1	Y2	Kırmızı	Sarı
EM Regen Buton	Digital OUT P1 Ch1	Pembe - 1	G2	Turuncu	Siyah
EM Tekerlek Hızı	Digital IN P1 Ch14	Sarı - 1	J4	Sarı	Turuncu
EM GND	GND	Yeşil - 1	c1	Yeşil	Kırmızı

6.8.3.5 Batarya Yönetim Sistemi

Deney ortamında kullanılan batarya paketine ait özellikler Bölüm 6.8.1’de anlatılmıştır. Batarya yönetim sistemi tarafından yayınlanan bilgi mesajı, MATLAB/Simulink ortamında geliştirilen algoritmayla ayrıştırılarak, gerekli bilgilerin (Akım, Voltaj, Sıcaklık) MicroAutoBox II donanımı tarafından çevrimiçi olarak kullanabilmesini sağlamıştır. Donanımla MicroAutoBox II arasında veri iletişiminin sağlanabilmesi için Simulink içerisinde kurulan modelde MicroAutoBox II donanımına ait kütüphane kullanılmaktadır. Şekil 117 ile görülen modelde BYS’den gelen seri haberleşme port çıktısından akan Decimal değerlerden akım, voltaj ve sıcaklık bilgisi taşıyanlar tespit edilebilmek için Tablo 29 yardımıyla ASCII’ye çevrilmektedir. Veriler işlendikten sonra anlık olarak akım ve SOC değerleri elde edilmektedir.

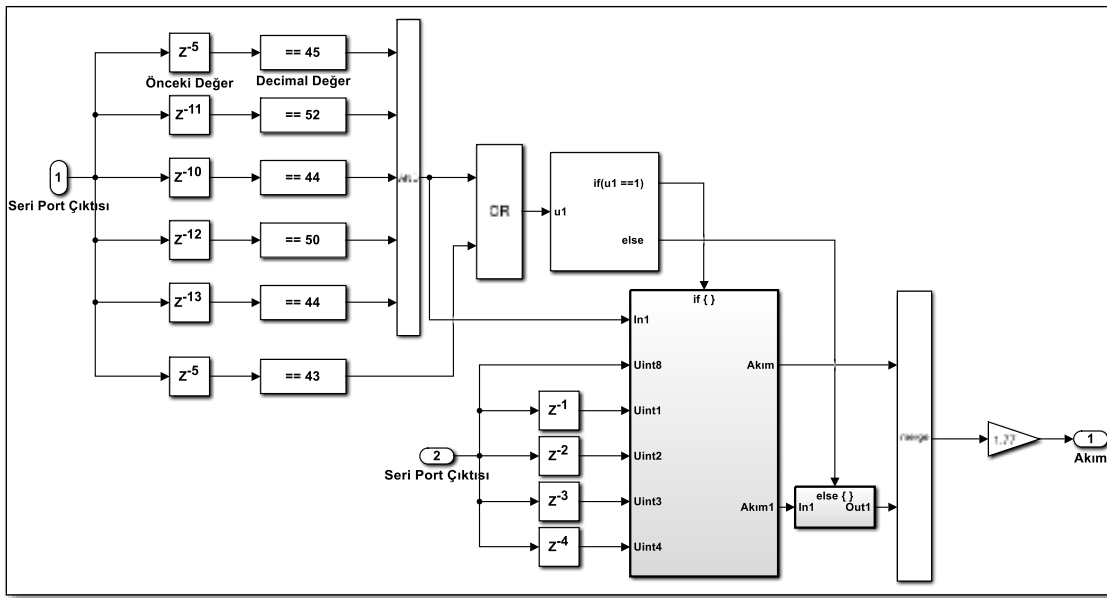


Şekil 117. Akım, voltaj, sıcaklık bilgilerinin ayrıştırılmasını sağlayan Simulink blok diyagramı

Tablo 29. ASCII - Decimal çeviri tablosu

ASCII	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	+	,	-	[]
Decimal	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	43	44	45	91	93

Veri taşınma formatında 24, 21 ve 22 OpCode'ları akım, voltaj ve sıcaklık bilgisi taşımaktadır. Örneğin, [1000,24,... diye giden bir akım verisi BMS'den 91 49 48 48 48 **44 50 52 44**... şeklinde ilerlemektedir. BMS'den gelen sayı seri haberleşme portundan Simulink modeli yardımıyla akım için **44 50 52 44**, voltaj için **44 50 49 44**, sıcaklık için **44 50 50 44** içeren veriler tespit edilmiştir(Bkz. Şekil 118).

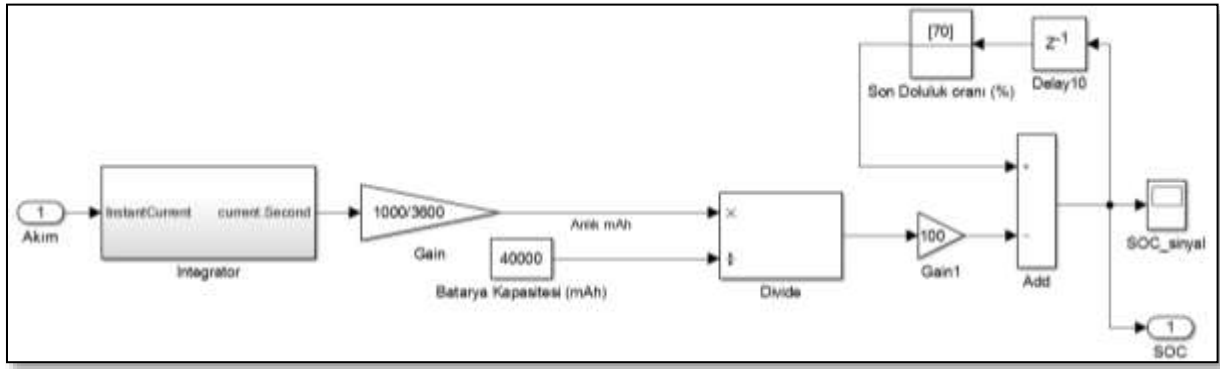


Şekil 118. Akım verilerini toplayıp ardından gerçek akım değerine dönüştüren Simulink blok diyagramı.

Yapılan deneyler sonucunda ölçülen akım değeri ile deneyde çıkan değer arasında 1,77 kat fark olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, gerçek akım değerinin okunabilmesi için okunan akım değeri 1,77 kat ile çarpılmaktadır.

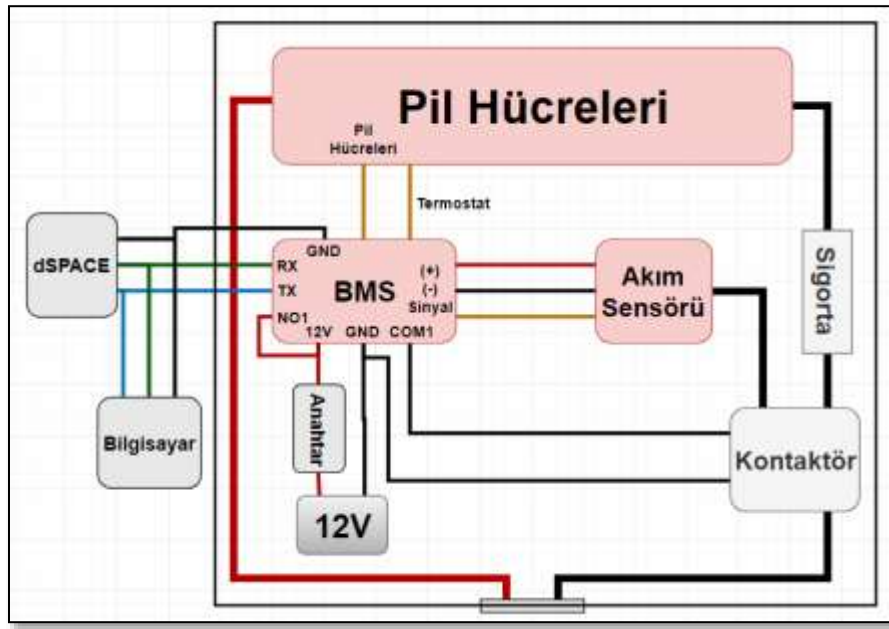
Batarya doluluk oranı tahmininde sinyal tabanlı bir yöntem ele alınmıştır. Bu yöntemde, batarya doluluk oranı aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi batarya akımı üzerinden hesaplanmaktadır.

$$SOC = SOC - \frac{\left[\int_0^t i(\tau) dt \right]}{C_R} \quad (70)$$



Şekil 119. Batarya doluluk oranı tahmini Simulink blok diyagramı

Şekil 119 ile gösterilen batarya doluluk tahmincisinde ilk doluluk oranı olarak girilen 'initial condition' bloğu her batarya açılıp kapanmasında güncellenmesi gerekmektedir. Batarya sistemine ait genel devre şeması Şekil 120 ile gösterilmektedir.



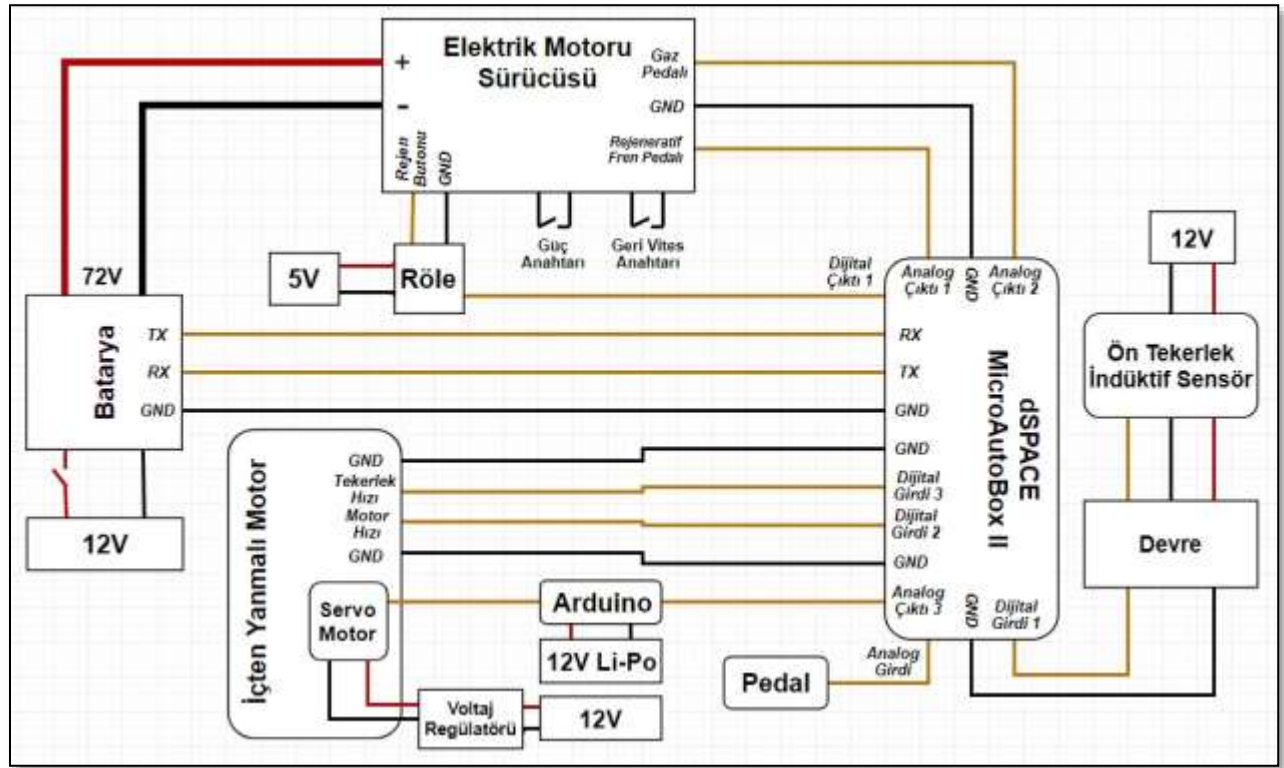
Şekil 120. Batarya sistemi şematik çizimi

MicroAutoBox II donanımı ve batarya sistemine ait sensör seti arasında kurulan bağlantı pin bilgisi Tablo 30 ile verilmektedir.

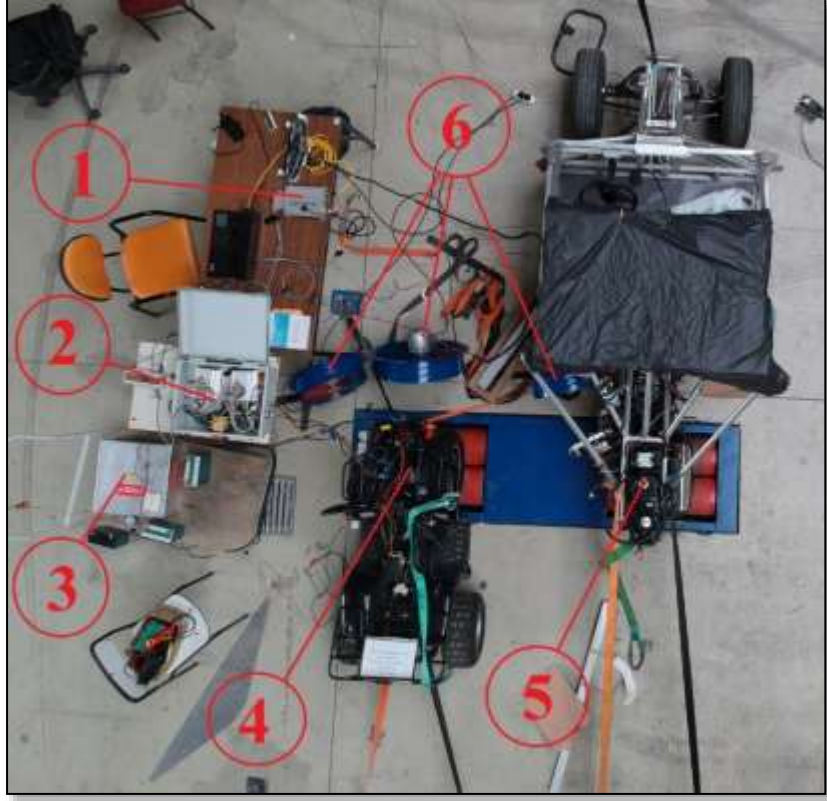
Tablo 30. Batarya yönetim sistemi sensör pin bilgisi

Sinyal İsmi	MicroAutoBox II Pini	MicroAutoBox II Kablo Rengi	MicroAutoBox II Pin Konumu	Dişi/ Erkek Soket Kablo Rengi	
Akım - Voltaj	Serial 1 TX	Pembe - 2	c5	Pembe	Mavi
Akım - Voltaj	Serial 5 RX	Mavi - 2	c6	Mavi	Kahve
GND	GND	Mor- 2	A1	Siyah	Beyaz

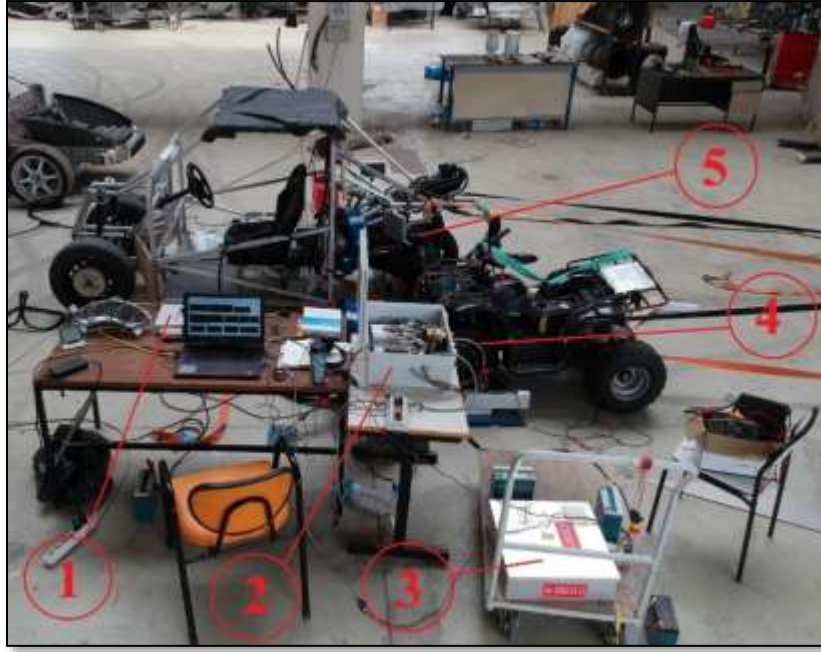
Hem hibrit algoritmalarının koşturulmasında hem de güç gruplarının karakterizasyon çalışmalarında kullanılan ekipmanların genel devre şeması, konumlandırılması ve deney ortamı görselleri Şekil 121, Şekil 122 ve Şekil 123 ile verilmektedir.



Şekil 121. Donanımlara ait genel devre şeması



Şekil 122. Deney ortamının tepeden görünüşü. 1) MicroAutoBox II, 2) Elektrik motor kontrolcileri, 3) Batarya paketi, 4) Elektrik motorları, 5) İçten yanmalı motor, 6) Fanlar

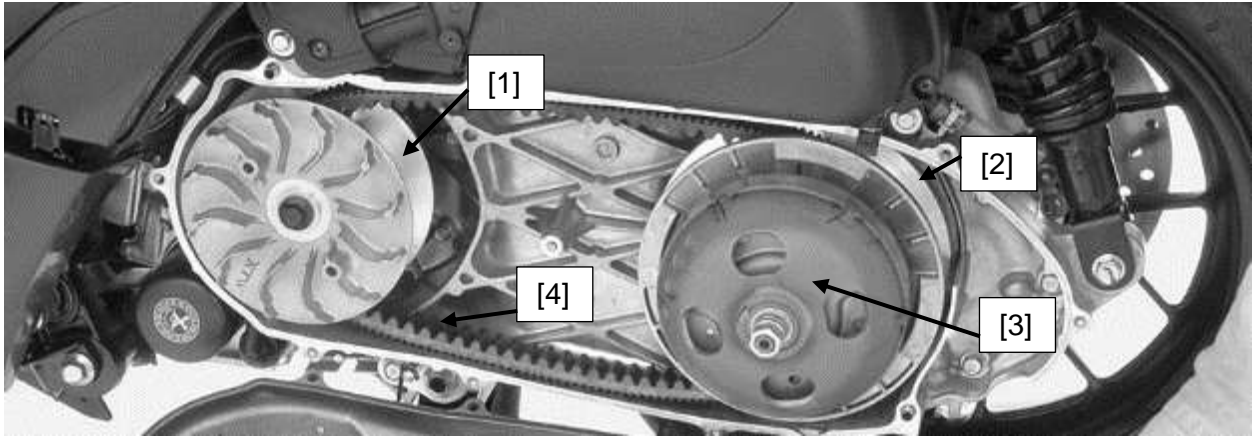


Şekil 123. Deney ortamının yandan görünüşü 1) MicroAutoBox II, 2) Elektrik motor kontrolcileri, 3) Batarya paketi, 4) Elektrik motorları, 5) İçten yanmalı motor

6.9 CVT Haritasının Oluşturulması

6.9.1 Parça Ölçülerine göre CVT Oranı

Mevcut projede, deneylerde kullanılan içten yanmalı motora entegre varyatör şanzıman tipi (CVT-Süreklili değişken oranlı şanzıman) bulunmaktadır. Bu şanzıman tipi, araç hızına bağlı olarak motor ile tekerlek arasında farklı redüksiyon oranları üretmekte ve motor tarafından üretilen gücün tekerleğe aktarılmasını sağlamaktadır. Kullanılan şanzıman tipinde, değişken ve sabit oran sağlayan iki kısım vardır. İlk kısımda Şekil 124 ile gösterildiği gibi, kayışlı ve hareketli kasnak parçalarıyla belirli devirler arasında değişken oran üretilmektedir. İkinci kısımda ise sabit bir orana sahip dişli grubu bulunmaktadır (Bkz. Şekil 125).

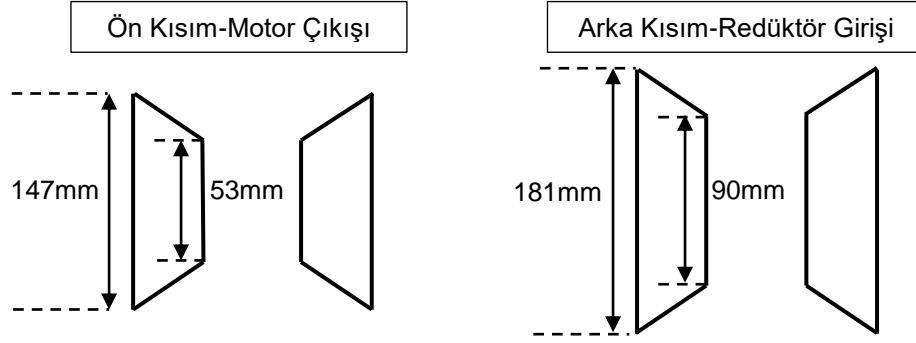


Şekil 124. Varyatör- değişken oran sağlayan kısım 1) Ön hareketli kasnak, 2) Arka hareketli kasnak, 3) Kavrama, 4) Tahrik kayışı



Şekil 125. Varyatör- sabit oran sağlayan kısım

Değişken oran sağlayan kasnaklar, şanzıman grubundan sökülerek hareketli yüzeylerindeki minimum ve maksimum çap uzunlukları ölçülmüştür (Bkz. Şekil 126).



Şekil 126. Şanzımda kullanılan kasnak ölçüleri

Ölçülen kasnak boyutlarına göre minimum ve maksimum oranlar aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{Değişken oran aralığının minimum değeri} = \frac{\text{Arka kasnak minimum çap değeri}}{\text{Ön kasnak maksimum çap değeri}} = \frac{90}{147} = 0.61$$

$$\text{Değişken oran aralığının maksimum değeri} = \frac{\text{Arka kasnak maksimum çap değeri}}{\text{Ön kasnak minimum çap değeri}} = \frac{181}{53} = 3.39$$

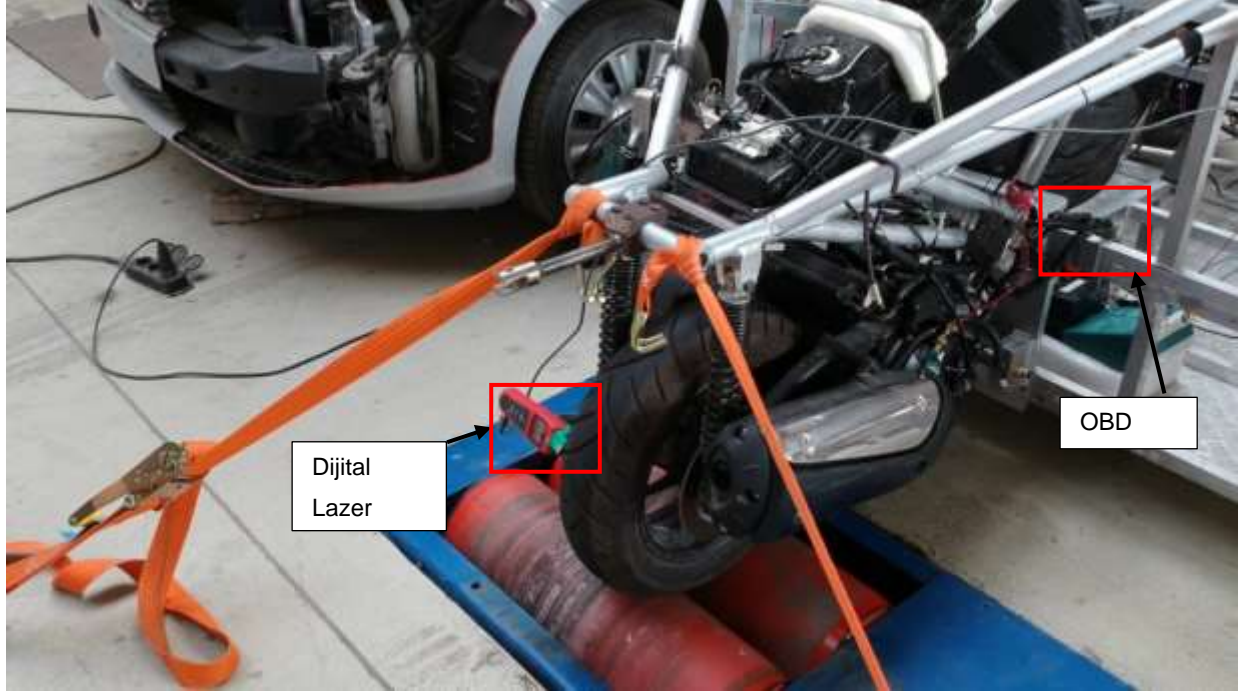
Sabit oran kısmı, bir tam tur tekerlek hareketi verildiğinde redüktör giriş milinin gerçekleştirdiği tur sayısına oranlanarak elde edilmiştir:

$$\text{Sabit redüksiyon oranı} = 7.33$$

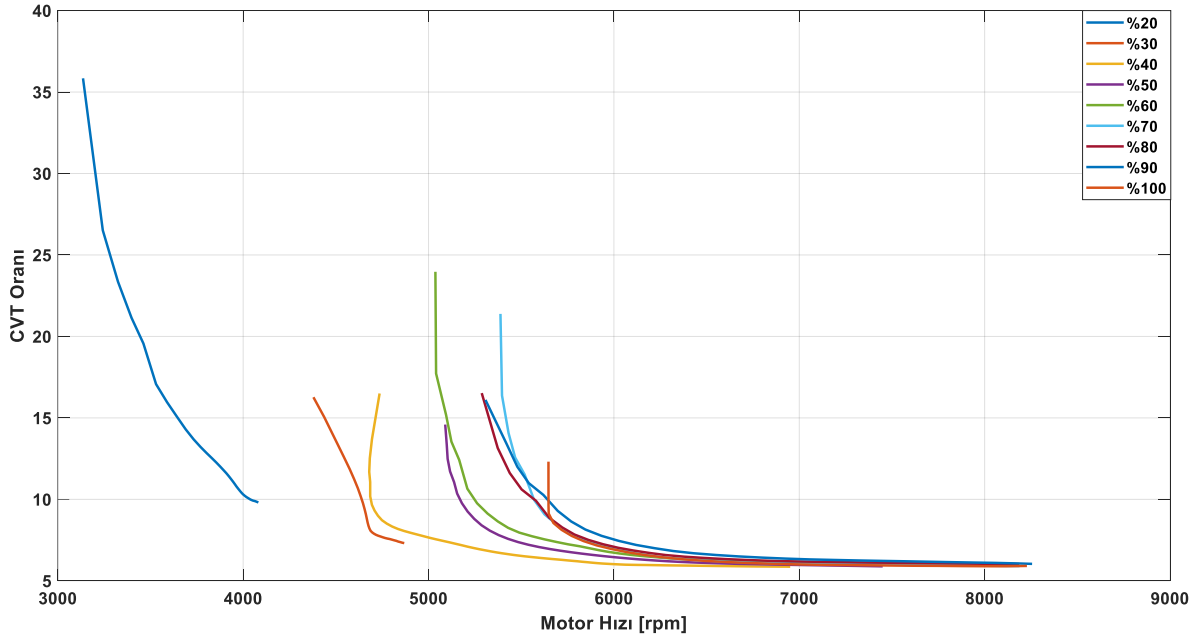
Sabit redüksiyon oranı ve değişken oran aralığı göz önüne alındığında 4.47-24.84 arasında oranlar elde edilebilmektedir.

6.9.2 Veri Toplama Yöntemiyle CVT Oranları

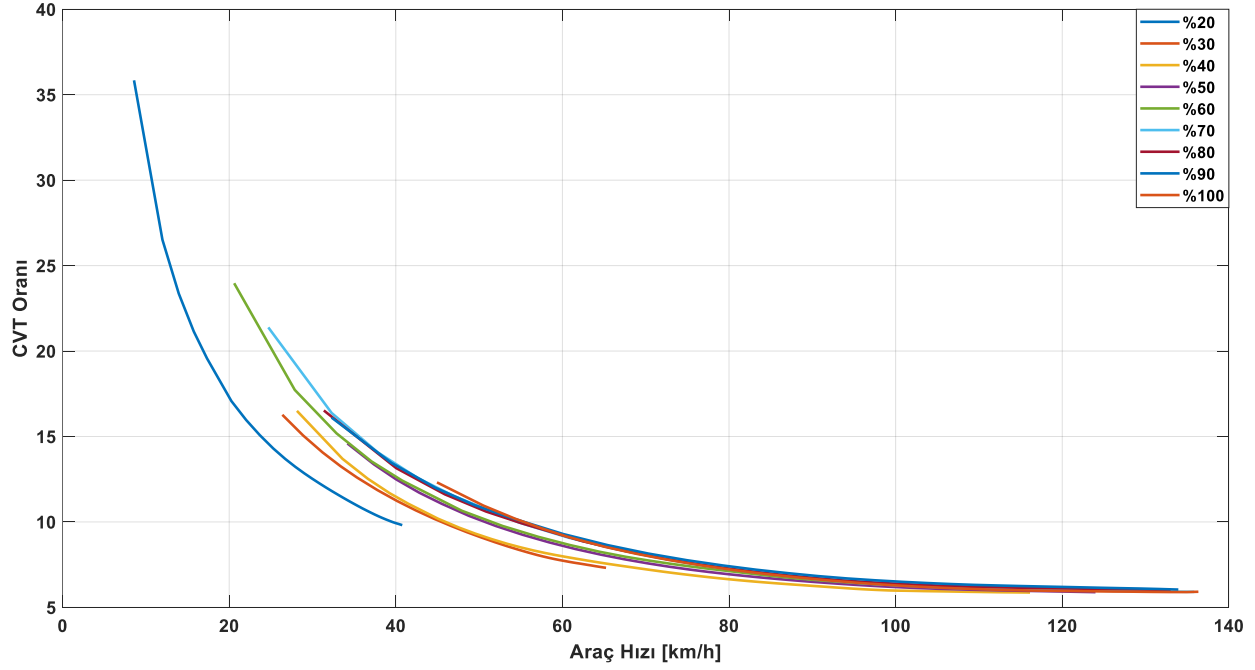
Elektrikli hibrit sürüş sisteminde, içten yanmalı motorun tork davranışlarını yönetebilmek adına, farklı pedal açılarında oluşan hız değişimlerine göre oluşan redüksiyon oranlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, araç, şasi dinamometresine çıkartılarak araç üstünde motor hızı ve tekerlek hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 127). Bu ölçümler, %20 gaz pedalından başlayarak %10 aralıklarla artırılarak tekrarlanmıştır. Deneylerde, motor hızı toplanırken, Kontrol Alan Ağı Veri Yoluna (CAN) bağlanabilen bir cihaz (OBD Tool) kullanılmıştır. Cihaz, motor hız verisini 50 ms'lik aralıkla kaydetmektedir. Tekerlek hızı ise dijital lazer takometre cihazı ile 100 ms'lik aralıklarla ölçülmüştür. Kaydedilen veriler toplanma sıklığına göre eş zamanlı hale getirilip oranlanarak (*Motor Hızı / Teker Hızı*) redüksiyon değerleri hesaplanmıştır. Oluşan redüksiyon oranlarının motor hızı ve araç hızına göre oluşan eğrileri Şekil 128 ve Şekil 129 ile gösterilmektedir.



Şekil 127. Şasi dinamometresi veri toplama düzeneği

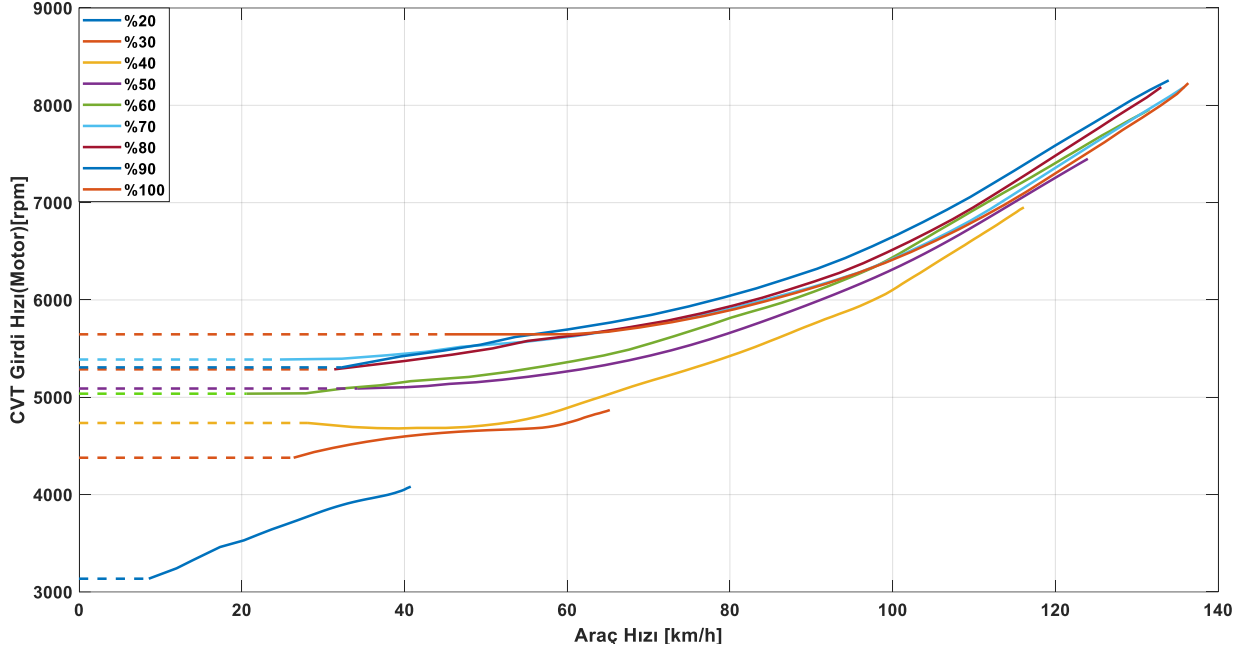


Şekil 128. Farklı gaz kelebeği açılarında motor hızına göre cvt oranları



Şekil 129. Farklı gaz kelebeği açılarında araç hızına göre CVT oranları

Şekil 129 ile gösterilen motor hızı ve redüksiyon oranlarında %20 pedal pozisyonu dışında Bölüm 6.9.1'de hesaplanan minimum ve maksimum şanzıman oranları arasında kalındığı gözlemlenmektedir. %20 pedal pozisyonunda redüksiyon oranlarının 25'in üzerinde oluşmasının sebebi ise kavrama durumunun kademeli ve yavaş gerçekleşmesinden dolayı aktarmanın tam olarak sağlanamamasıyla ilgilidir. Aynı zamanda, kavrama durumuna göre her pedal pozisyonu için belirli bir motor devrinden önce redüksiyon oranları hakkında belirli bir değer saptayabilmek mümkün olmamaktadır. Örneğin %60 gaz pedalında, motor hızının 5000 rpm değerinden önceki durumlarında kavrama geçişi yaşandığı için belirli bir redüksiyon oranı hesaplanamamıştır. Buna ek olarak farklı gaz pedallarında araç hızına karşılık oluşan motor hızları Şekil 130 ile gösterilmektedir.



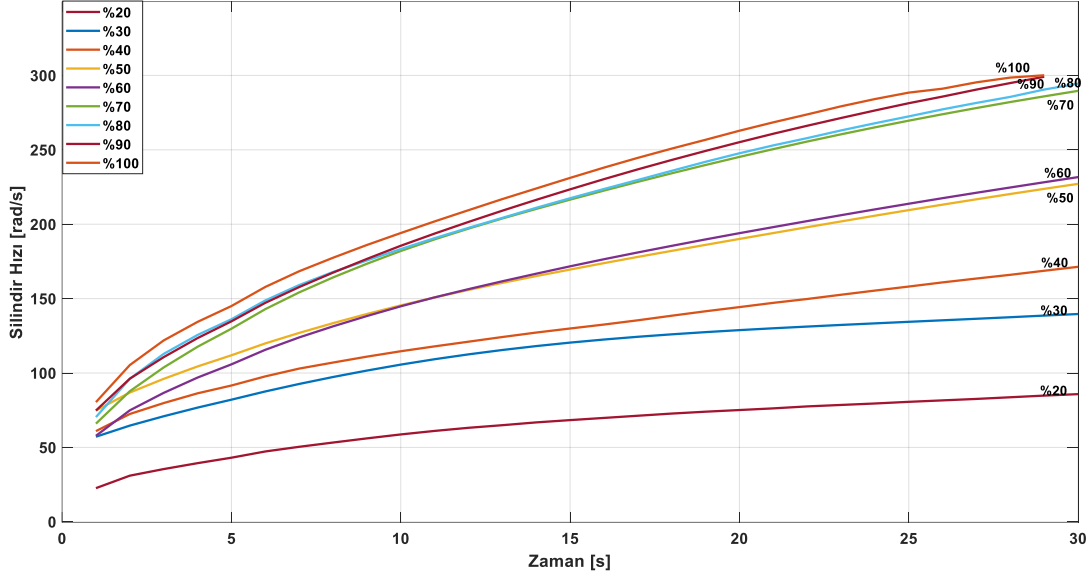
Şekil 130. Farklı gaz pedallarında araç hızına karşılık motor devrinin değişimi

6.10 İçten Yanmalı Motor Karakterizasyon Çalışmaları

6.10.1 Tork Haritasının Oluşturulması

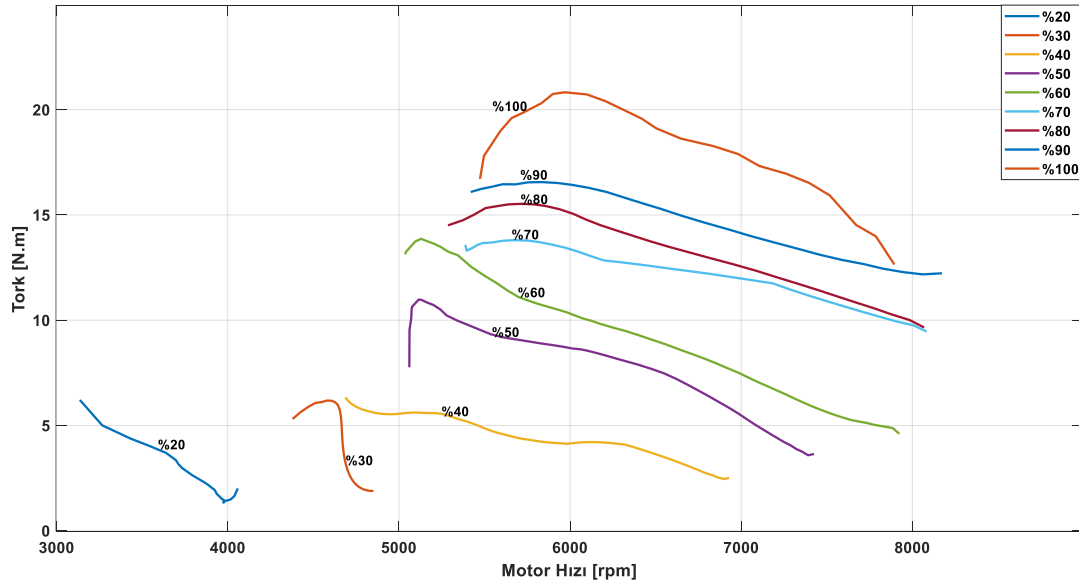
Hibrit araç üstünde kullanılan içten yanmalı motor ait tork haritası oluşturabilmek için şasi dinamometre testleri uygulanmıştır. Bu testlerde, belirlenen her gaz pedalı açısında oluşan motor hızı, tekerlek hızı ve dinamometre açısız hızı eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Bu ölçümler, %20 gaz pedalı oranından başlayarak %10 aralıklarla artırılarak tekrarlanmıştır. Deneylerde, motor hızı toplanırken, Kontrol Alan Ağı Veri Yoluna (CAN) bağlanabilen bir cihaz (OBD Tool) kullanılmıştır. Cihaz motor hız verisini 50 ms'lik aralıkla kaydedilmiştir. Tekerlek hızı, dijital lazer takometre cihazı ile 100 ms'lik aralıklarla ölçülmüştür. Silindir (Roller) hızı verileri ise, üzerinde bulunan enkoder tarafından kayıt altına alınmıştır.

Şasi dinamometresinde ölçülen tork tekerlek seviyesinde hesaplanan torku temsil etmektedir. Tekerlek tarafından üretilen çekiş torku, dinamometre silindirleri üzerinde oluşan kinetik enerji üzerinden hesaplanmıştır. Kullanılan denklemler Bölüm 6.8.3.1'de ifade edilmektedir. Testler sırasında her bir gaz pedalı açısında oluşan dinamometre silindir hızlanma eğrileri Şekil 131 ile gösterilmektedir.



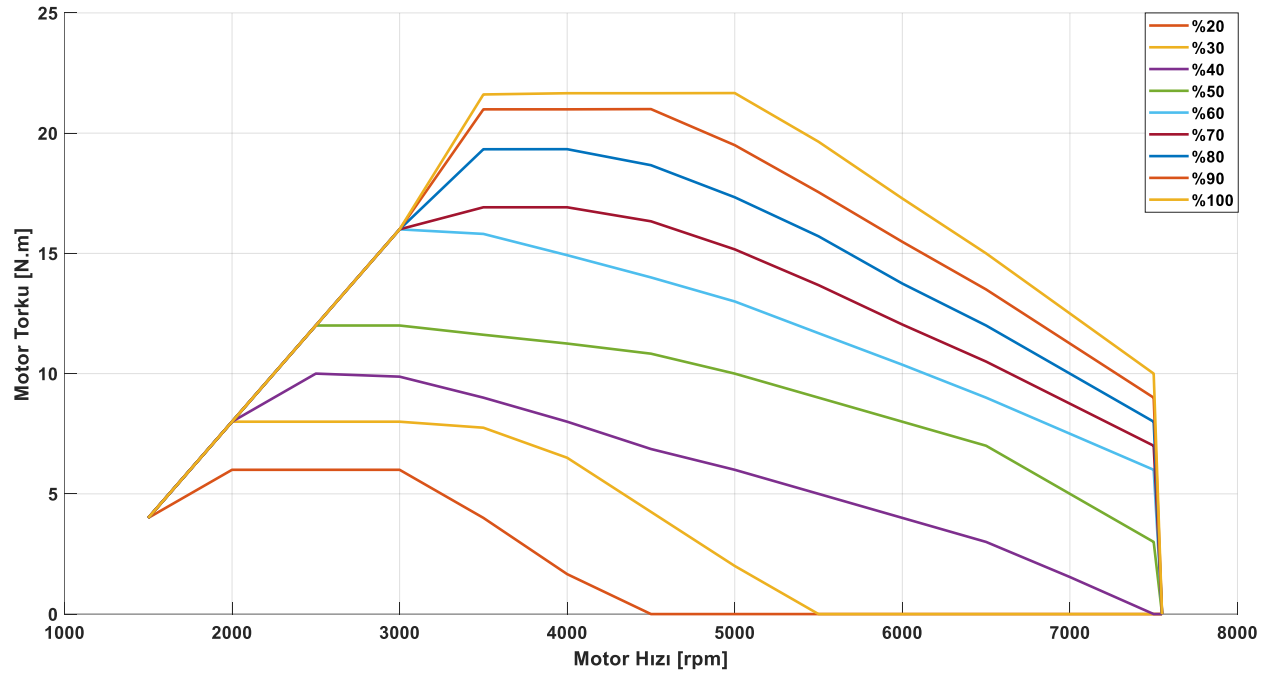
Şekil 131. Farklı gaz pedalı açılarında oluşan dinamometre silindir hızlanma eğrileri

Şekil 131 ile gösterilen dinamometre silindir hızlarına göre tekerlek tork değerleri hesaplanmıştır. Üretilen motor torkuna geçilebilmesi için tekerlek ile motor arasında oluşan redüksiyon oranına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, silindir hızı kaydedilirken, motor hızı ve tekerlek hızı da yukarıda bahsedilen cihazlarla eş zamanlı olarak toplanmıştır. Her pedal açısı için motor ve tekerlek hızı oranlarından oluşturulmuş redüksiyon oranları Şekil 129 ile gösterilmektedir. Her pedal açısı için hesaplanan tekerlek tork değerleri o pedala ait redüksiyon değerleriyle oranlanarak motor torku türetilmiştir. Oluşturulan tork haritası Şekil 132 ile gösterilmektedir.

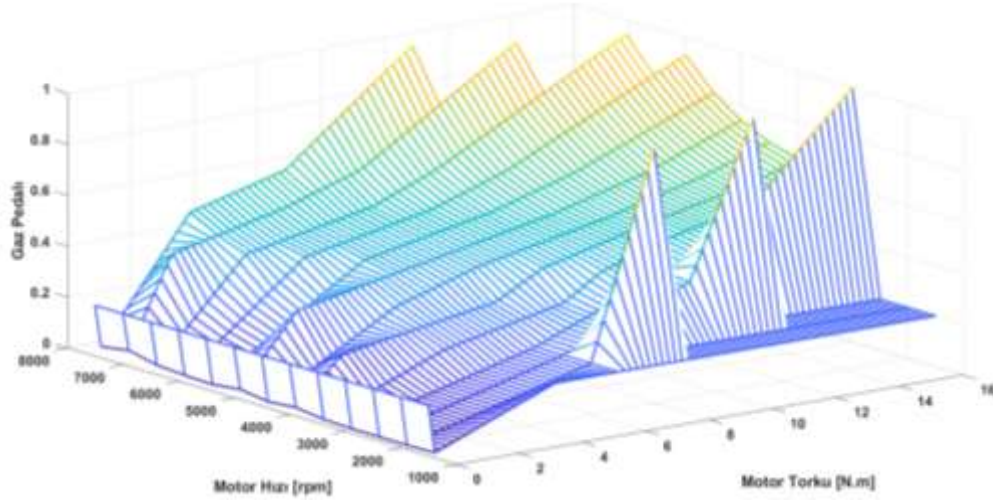


Şekil 132. İçten yanmalı motor tork haritası (DeneySEL)

Şekil 132 ile gösterilen grafiklere bakıldığında belirli bir motor devrinden önce tork değerlerinin hesaplanmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, içten yanmalı motora entegre kavrama kısmının hıza bağlı olarak kademeli olarak aktarma sağlamasıyla ilgilidir. Buna ek olarak, kavrama süresinde sürekli değişken şanzıman davranışları tahmin edilemediğinden dolayı kavrama bölgesi tork haritasına eklenmemiştir. Ancak mevcut hibrit algoritmasında kullanılmak üzere oluşturulacak tork haritasının ölçülebilen motor hızı aralıklarında mevcut bir tork değeri sunması gerekmektedir. Bu doğrultuda, tork haritası davranışı bozulmayacak şekilde kavrama bölgesi oluşturulup genel tork haritası elde edilmiştir. Elde edilen tork haritası Şekil 133 ile gösterilmektedir. Elde edilen tork haritası, araç modelinde ve hibrit algoritma içerisinde kullanılması için tersine tork haritası oluşturulmuştur. Bu harita içerisinde 0.2 N.m tork aralıklarıyla oluşturulan tork vektörünün her motor hızına karşılık gelen gaz pedalı açıları oluşturulmuştur. Oluşturulan gaz pedalı haritası Şekil 134 ile gösterilmektedir.



Şekil 133. İçten yanmalı motor tork haritası (Teorik)



Şekil 134. Tersine tork haritası gaz pedalı çıktısı

6.10.2 İçten Yanmalı Motor Yakıt Tüketim Haritasının Oluşturulması

Yakıt tüketim haritası, farklı motor işletim noktaları için anlık yakıt tüketim değerlerini vermektedir. Hibrit taşıt uygulamalarında, yakıt tüketim haritası, enerji yönetim sistemi algoritmaları tarafından kullanılarak içten yanmalı motorun verimini en üst düzeyde tutulması bağlamında kullanılmaktadır.

Mevcut motora, OBD haberleşme kitiyle bağlanılarak motor devri, enjeksiyon süresi, pedal açısı verileri matrisler halinde kaydedilmiştir. Toplanan veriler eşzamanlı ve 50 ms'lik aralıklarla ölçülmüştür. Veriler iki farklı aşamada toplanmıştır. İlk aşamada, belirlenen sabit motor devirlerinde (1500 rpm -Rölanti, 4000 rpm, 5700 rpm, 6700 rpm) dört farklı test yapılmıştır. Uygulanan testlerde OBD haberleşme yoluyla ölçülemeyen toplam tüketilen yakıt miktarı için yakıt deposundaki kütle değişimi üzerinden hesaplama yapılmıştır. Farklı motor devirlerinde yapılan testlere ait veriler Tablo 31 ile verilmektedir.

Tablo 31. Sabit motor devrinde yakıt testi

Deney No	Devir (rpm)	Süre (s)	İlk Kütle* (g)	Son Kütle* (g)	Yakılan Yakıt (g)	Tüketim (L/h)
1	Rölanti	1820	4348	4192	156	0.41
2	4000	923	4138	3976	162	0.85
3	5700	299	3900	3814	86	1.39
4	6700	305	3814	3696	118	1.88

*Depo darasıyla ölçülen kütle değeri – Depo darası: 3136g

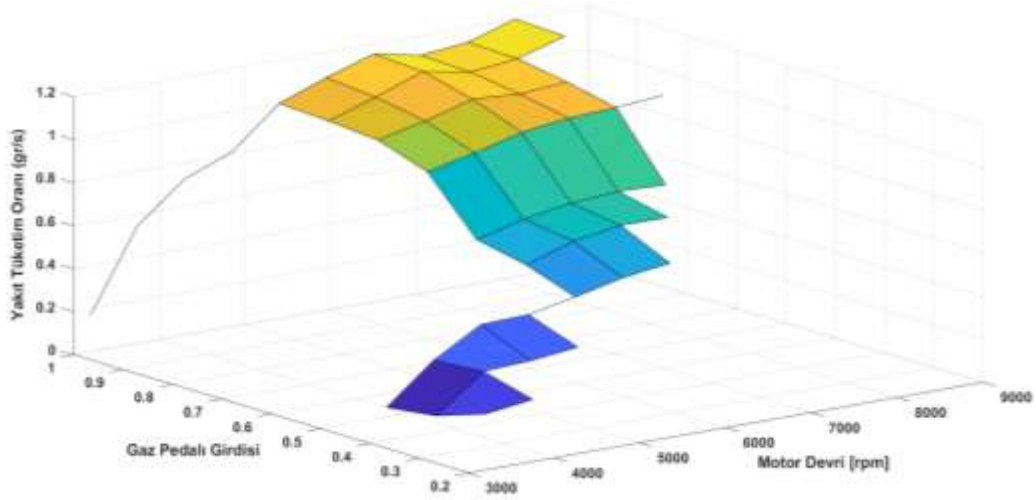
Sabit motor devri testlerinde tüketilen yakıt miktarı ve enjeksiyon süresi verileri işlenerek ölçüm yapılan motor devrine ait saniyede tükettiği ortalama yakıt miktarı hesaplanmaktadır. Bu hesaplama, toplam deney süresi boyunca tüketilen yakıt miktarının, OBD haberleşme cihazı üzerinden kaydedilen enjeksiyon sürelerinin toplamına bölünmesiyle yapılmaktadır. Bu hesaplama sonucu deneylerde oluşan birim saniyede oluşan ortalama yakıt miktarları Tablo 32 ile verilmektedir.

Tablo 32. Farklı motor devirlerinde oluşan yakıt tüketim oranı

Deney	Tüketim Oranı
1500 rpm-Rölanti	1,75 g/s
4000 rpm	4,31 g/s
5700 rpm	6,04 g/s
6770 rpm	7,25 g/s

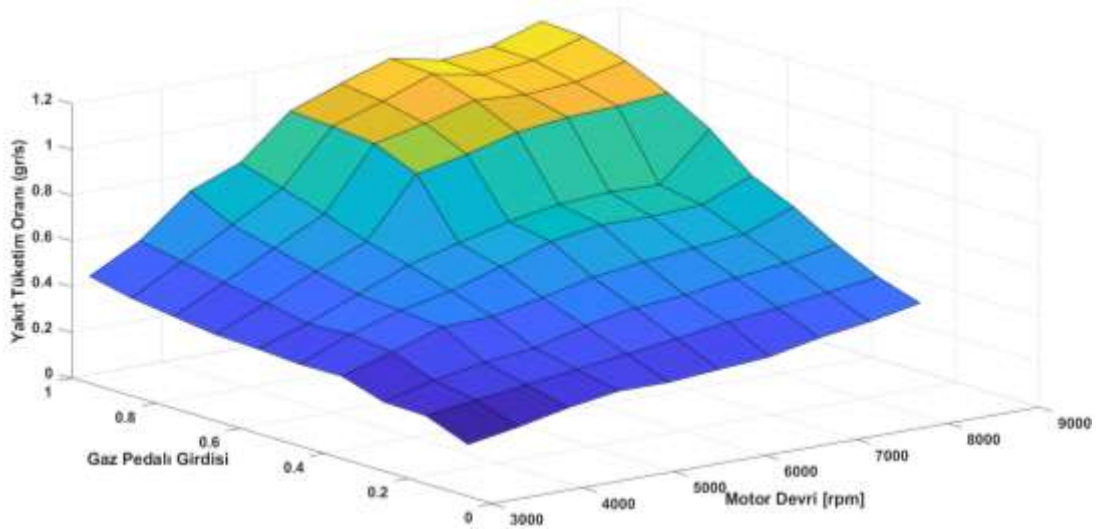
İkinci aşama testleri şasi dinamometresinde yapılmıştır. Bölüm 6.10.1’de anlatılan tork haritası oluşturma işleminde toplanan verilerle beraber eş zamanlı olarak OBD haberleşme cihazı üzerinden enjeksiyon süreleri, motor devri ve pedal açısı verileri matrisler şeklinde kaydedilmiştir. İkinci aşama testleri %20 pedal konumundan başlayarak %10 aralıklarla tam gaz konumuna kadar tekrarlanmıştır. Sabit pedal açıları, motorun gaz kelebeğine entegre edilen servo motor kontrolüyle gerçekleştirilmiştir. Belirlenen gaz konumu için gerekli analog sinyal geliştirme kartı kullanılarak servo motora gönderilmiştir.

İkinci test aşamasında, uygulanan pedal açısına göre oluşan motor devir eğrisinde oluşacak tüketim oranlarını hesaplamak için ilk aşamada oluşturulan motor devri-tüketim oranı matrisi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, motor devri-tüketim oranı matrisine göre ara değer kestirimi yapılarak mevcut motor devirlerine denk gelen tüketim oranları bulunmuştur. Bununla birlikte, hesaplanan yakıt tüketim oranları birim zamanda gerçekleşen enjeksiyon sayısı ile çarpılmaktadır. Böylelikle, sabit bir pedal açısında oluşan motor devirlerine karşılık gelen ortalama yakıt tüketim oranı hesaplanabilmektedir. Oluşturulan yakıt tüketim oranı haritası Şekil 135 ile gösterilmektedir.



Şekil 135. Yakıt tüketim haritası (Deneysel)

Mevcut şasi dinamometresi tüm yol yüklerini simüle edecek donanıma sahip olmadığından dolayı Şekil 135 ile gösterilen yakıt haritasında bazı pedal-motor devri bölgelerinde yakıt tüketim oranları oluşturulamamaktadır. Aynı zamanda, şanzıman ile motor arasında hıza bağlı bir kavrama türü bulunduğundan dolayı 3000 devrin altındaki verileri işlemek mümkün olmamaktadır. Ara değer kestirimi ile, yakıt tüketim haritası, tüm motor devirleri ve pedal açıları için oluşturulmuştur. Düzenlenmiş yakıt haritası Şekil 136 ile gösterilmektedir.



Şekil 136. Yakıt tüketim haritası (Düzenlenmiş)

6.11 Elektrik Motor Karakterizasyon Çalışmaları

Kullanılan fırçasız motora ait standart gerilim ve tork denklemleri aşağıda verilmektedir:

$$V_t = R_s I_s + L_s \frac{dI_s}{dt} + E_s, \quad (71)$$

$$E_s = k_E \omega_r, \quad (72)$$

$$T_e = k_T I_s, \quad (73)$$

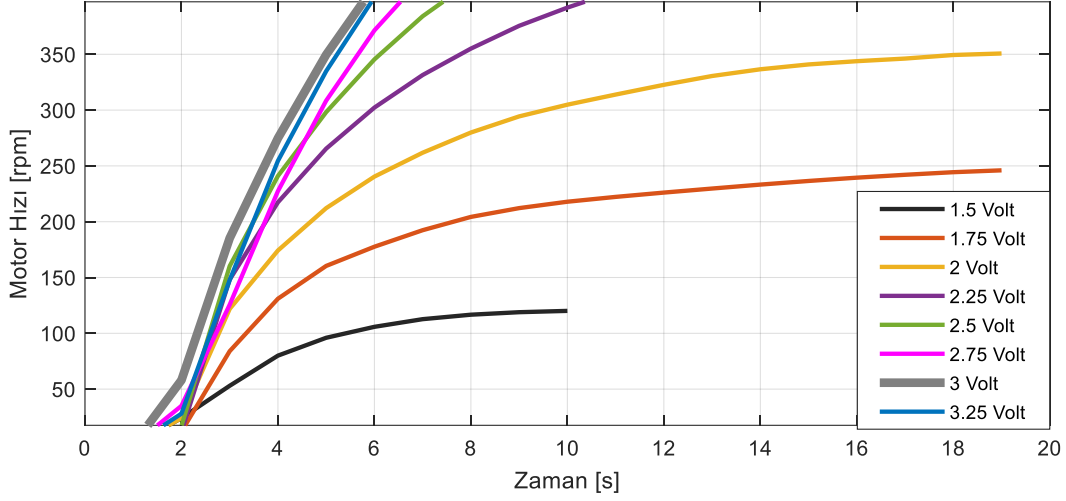
$$T_e = T_L + J \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r, \quad (74)$$

Yukarıda verilen denklemlere göre, motor torkunun süreli rejim ifadesi aşağıdaki gibi bulunabilmektedir.

$$T_e = \frac{(V_t - k_E \omega_r) k_T}{R_s} \quad (75)$$

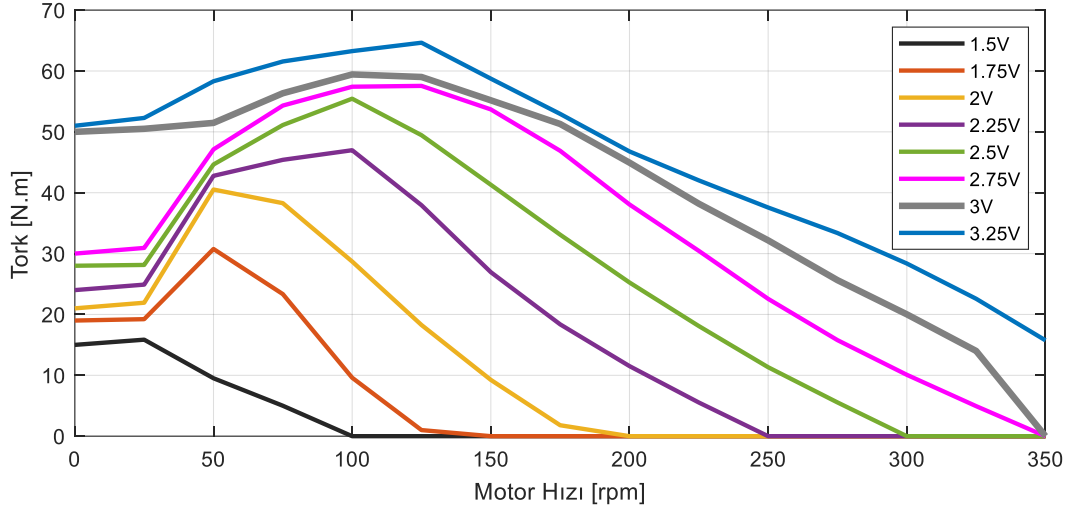
Denklem 75'te, motorun elektriksel sabitleri olan k_e , k_t ve R_s bilinmediği için motor tork eğrileri doğrudan elde edilememektedir. Bu sebeple, hibrit araç üstünde kullanılan elektrik motora ait tork haritası oluşturabilmek için öncelikle şasi dinamometre testleri uygulanmıştır. Dinamometre testlerinde elektrik motoruna farklı sabit voltajlar gönderilerek tork-rpm eğrileri elde edilmesine yönelik bir prosedür oluşturulmuştur.

Dinamometre testlerinde, belirlenen her komuta voltajında oluşan dinamometre açısal hızı kaydedilmiştir. Bu ölçümlerde, komuta voltajlarını göndermek için 0-5V arası çalışan bir potansiyometre kullanılmıştır. Kullanılan potansiyometrenin 0-1V bölgesi, elektrik motorunun doğrudan tekerleklere entegre olmasından dolayı güvenlik amacıyla herhangi bir tork komutu göndermeyecek şekilde ayarlanmıştır. Aynı zamanda kullanılan batarya ve motor sürücü akım limiti nedeniyle yapılan testlerde komuta voltajı olarak, 1V-3.25V arası 1.5V, 1.75V, 2V, 2.25V, 2.5V, 2.75V, 3V ve 3.25V sinyaller üretilerek tekrarlanmıştır. Deneyle, elektrik motorları tekerleklerle doğrudan silindirlere bağlı olmasından dolayı, silindir hızı verileri toplanması yeterli olmuştur. Silindir hızı ile tekerlek hızları arasında yarıçapları oranında farklılık vardır. Silindir (Roller) hızı verileri, üzerinde bulunan enkoder tarafından kayıt altına alınmıştır. Bu doğrultuda, toplanan verilerle içten yanmalı motor tork haritası için gerçekleştirilen işlemler tekrarlanmıştır (Bkz. Bölüm 6.10.1). Testler sırasında komuta voltajlara göre oluşan motor hızlanma eğrileri Şekil 137 ile gösterilmektedir.



Şekil 137. Farklı komuta voltajlarında oluşan motor hızlanma eğrileri

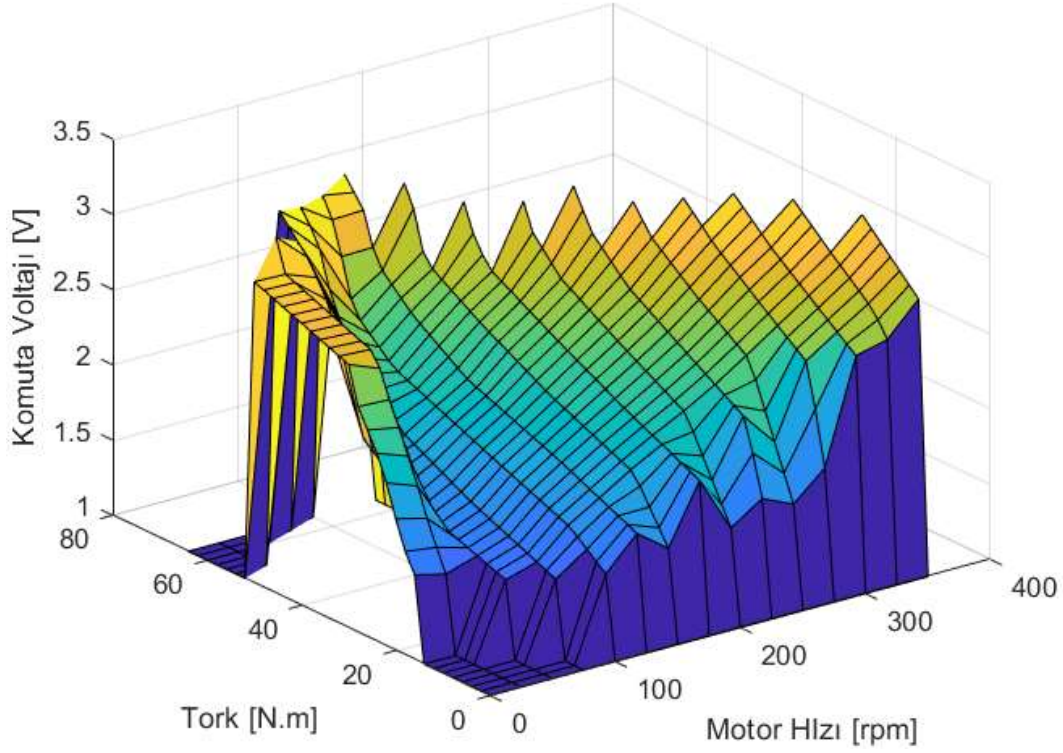
Mevcut hibrit enerji yönetim algoritmasında kullanılmak üzere oluşturulan tork haritası Şekil 138 ile gösterilmektedir.



Şekil 138. Elektrik motor tork haritası

Şekil 138 ile gösterilen tork haritası, matrisler şeklinde kullanıldığı için, ara değer kestirimlerinin daha gerçekçi değerler verebilmesi için komuta voltaja göre oluşacak maksimum motor hızı değerlerinde sıfır tork değeri girilmiştir.

Elde edilen tork haritasına paralel olarak, araç modelinde ve hibrit enerji yönetim algoritması içerisinde kullanılması için tersine tork haritasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu harita içerisinde 2 N.m tork aralıklarıyla oluşturulan tork vektörünün her motor hızına karşılık gelen komuta voltaj değerleri oluşturulmuştur. Oluşturulan komuta voltaj haritası Şekil 139 ile gösterilmektedir.



Şekil 139. Tersine tork haritası komuta voltaj çıktısı

6.11.1 Elektromekanik Tozlu Fren Dinamometre Testleri

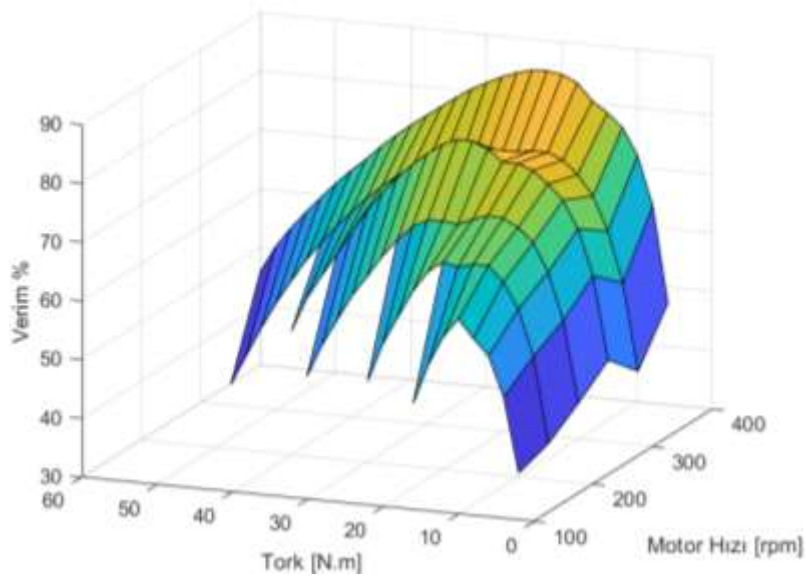
Elektrikli hibrit uygulamalarında, elektrik motor verim haritası, enerji yönetim algoritmaları tarafından kullanılarak elektrik motorunun verimini en üst düzeyde tutulması bağlamında kullanılmaktadır. Verim haritası, her komuta voltaj için, elektrik motora gelen gerilim ve akım değeri üzerinden hesaplanan güç değeri ile gerçekte oluşan güç değerlerinin oranlanmasıyla elde edilmektedir. Mevcut elektrik motorlarına ait verim haritasının tamamı şasi dinamometre testlerinde değişken yük durumları oluşturulamaması sebebiyle elde edilememiştir.

Ege Dinamik firması tarafından alınan hizmetle, elektromekanik tozlu (powder) fren dinamometre kullanımı sağlanmış ve elektrik motorlarına ait verim haritası çıkartılmıştır. Voltaj kontrolü yardımıyla istenilen tork değerlerine ayarlanabilmektedir. Elektrik motorları, Ege Dinamik A.Ş. tesislerinde kurulan sistemde flanş yardımıyla dinamometreye bağlanmaktadır (Bkz. Şekil 140).

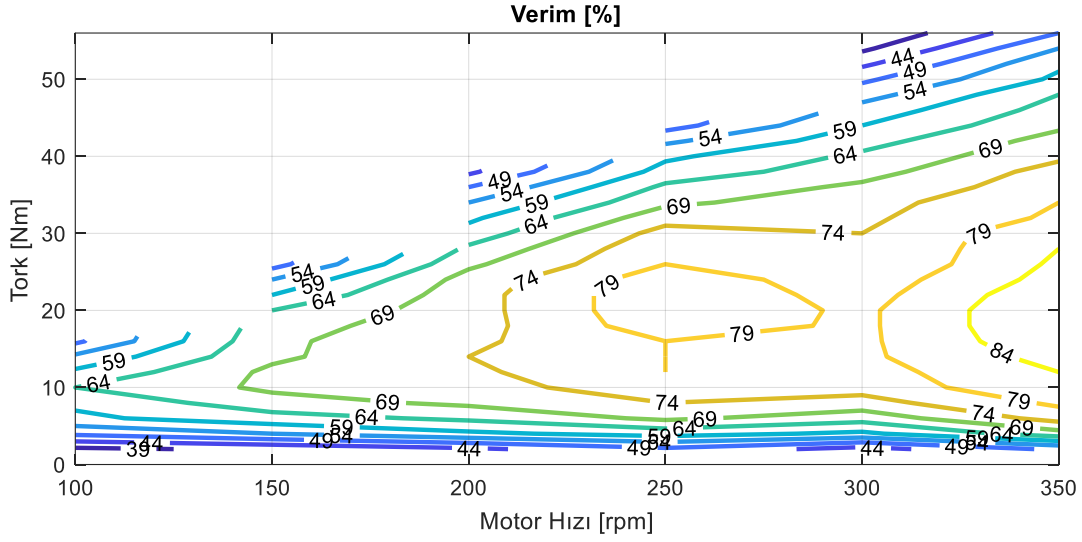


Şekil 140. Elektromekanik tozlu fren dinamometre sistemi

Mevcut sistemde, kullanılan elektrik motorları için farklı komuta voltajları (1V-3V) uygulanmış ve dinamometre tarafından ayarlanan yük torkuna karşı sistem torku, voltaj, akım ve verim değerleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda mevcut motorlara ait verim haritaları Şekil 141 ve Şekil 142 ile gösterilmektedir.



Şekil 141. Elektrik motor verim haritası (3 boyutlu gösterim)



Şekil 142. Elektrik motor verim haritası (İzohips gösterim)

6.12 Sonuç

Bu bölümde, prototip aracın mekanik tasarımı ve üretimi, hibrit enerji yönetim sistemleri için veri toplama sisteminin kurulması, sistem donanımlarının birbiriyle haberleştirilmesi, İYM, EM, CVT araç bileşenlerinin karakterizasyon çalışmaları gösterilmiştir. Bununla beraber, araç bileşenlerine ait performans haritalarının elde edilmesiyle, gerçek zamanlı benzetimlerde kullanılabilmesi için MicroAutoBox II donanımına ait kütüphaneler yardımıyla MATLAB/Simulink ortamında modeller oluşturulmuştur. İzleyen bölümde, gerçek zamanlı test öncesinde sanal ortamda oluşturulan prototip araç ve dinamometre modeli üzerinden hibrit enerji yönetim algoritmalarının performansı sınanmıştır.

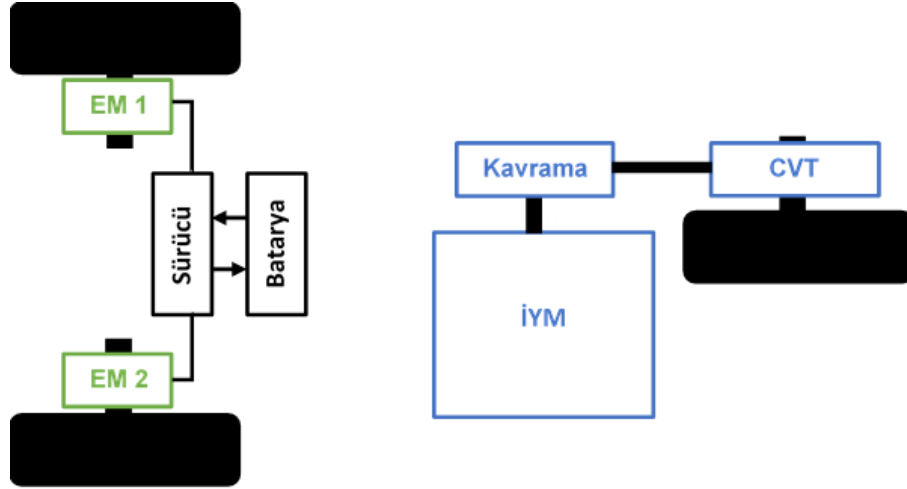
Bölüm 7. SANAL ORTAMDA PROTOTİP HİBRİT ARAÇ BENZETİMİ

7.1 Giriş

Hibrit taşıt uygulamasında, enerji yönetim algoritmalarını gerçek dinamometre üzerinde test etmeden önce sanal ortamda kurulan dinamometre ve araç modeli üzerinden benzetimler yapılmıştır. Bu sayede, dinamometre üzerinde oluşacak araç davranışları ve hibrit algoritma tepkileri benzetim ortamında gözlemlenmiştir. Sanal dinamometre benzetiminde hibrit algoritma olarak; Sınırlandırılmış Termostat, Maksimum Batarya Doluluk Stratejisi ve EEMY koşturulmuştur.

7.2 Araç Modeli

Çalışmada kullanılan prototip aracın mimarisi Bölüm 6'da tanıtılan ve üretilmiş olan araçla uyumlu bir şekilde Şekil 143'de gösterilmektedir. Aracın ön çekiş sisteminde birer kW'lık tekerlek içi elektrik motorları ve arka çekiş sisteminde 19 kW'lık içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Araç özelliklerine ait diğer bilgiler Tablo 33 ile verilmektedir.



Şekil 143. Prototip araç mimarisi

Benzetimler, Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsü sürüş çevriminden türetilmiş basit bir hız profiline sahip bir sürüş çevriminde gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, sürüş çevrimine ait hız ve ivme grafikleri Şekil 144 ile gösterilmektedir (Ayrıca Bkz Bölüm 8).

Araca etkiyen yol dirençleri, yuvarlanma, hava, yol eğimi ve ivmelenme direnç kuvvetleri olarak tanımlanmaktadır. Ancak dinamometre üzerinde test edilen araçlar yere sabitlendiğinden ötürü hava ve yol eğimi dirençleri araç üzerinde oluşmamaktadır. Mevcut çalışmada, kullanılan dinamometreye ait herhangi bir ekstra ekipman bulunmamasından dolayı benzetim ortamında yol

eğimi ve hava direnç kuvvetleri hesaba katılmamaktadır. Yuvarlanma ve ataletsel direnç, Denklem 76 ve Denklem 77 ifade edilmektedir. Bu doğrultuda, kullanılan sürüş çevrimine göre oluşan direnç kuvvetleri ve güç isteği Şekil 145 ile gösterilmektedir.

Tablo 33. Prototip araç özellikleri

ÖGE	PARAMETRE	DEĞER
Araç	Tür	Paralel Hibrit
	Kütle	380 (kg)
	Yuvarlanma direnci katsayısı (f)	0.01
	Hava direnci katsayısı(Cd)	0.5
	Hava yoğunluğu(densAir)	1.24 (kg/m ³)
	Ön cephe alanı(Af)	2 (m ²)
	Tekerlek yarıçapı(rw)	0.29 (m)
Şanzıman	Vites oranları(it)	CVT [3.39, 0.61]
	Son dişli oranı (id)	7.33
	Şanzıman verimi (effTrans)	0.95
İYM	Yakıt Türü	Benzin
	Maksimum Güç	19 (kW)
	Maksimum Hız	7500 (RPM)
EM	Maksimum Güç	2x1 (kW)
	Maksimum Hız	600 (RPM)
Batarya	Kapasite	0.175 (Kw.h)/3(kW.h)
	Maksimum Akım	40 (A)
	Açık Devre Voltaj	72 (V)

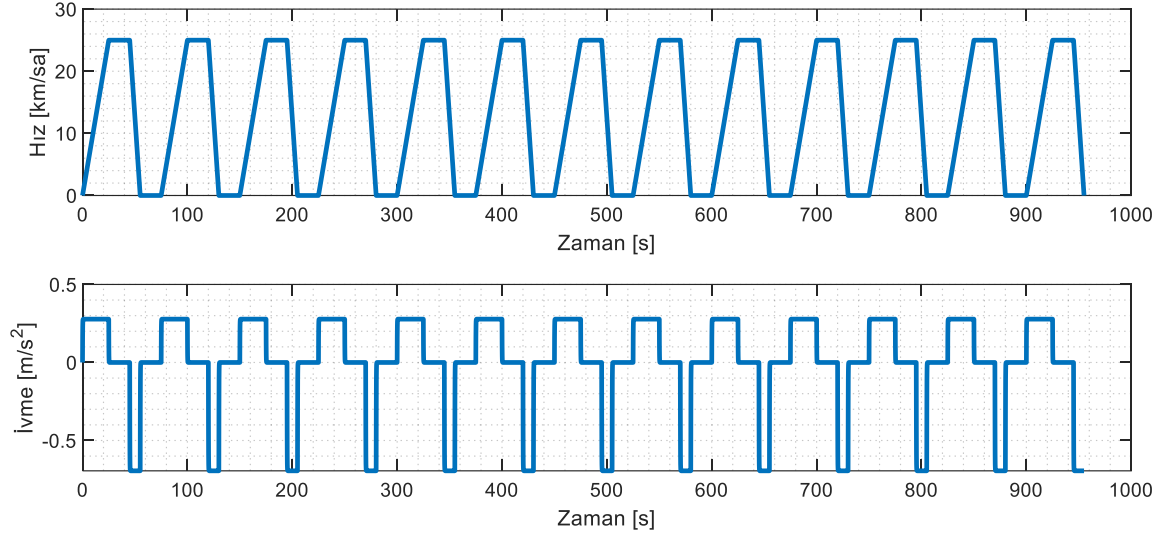
.Yuvarlanma direnci aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$F_r = m_{araç}gf \quad (76)$$

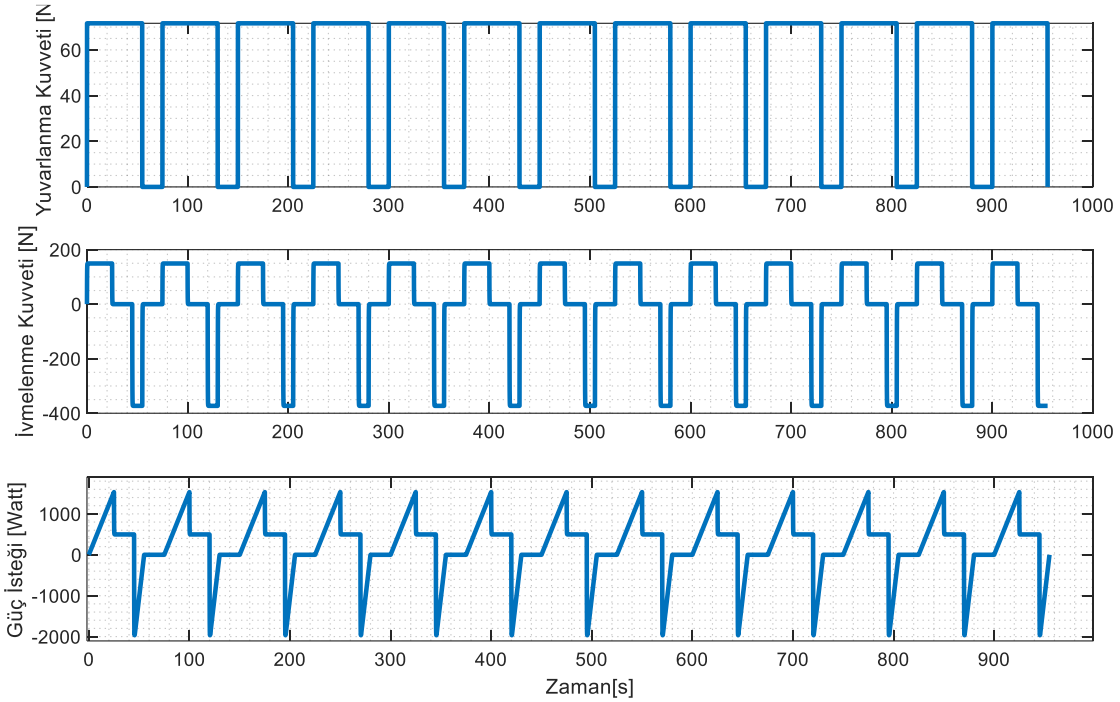
Araç boyuna dinamiği aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$F_{net} = \gamma m_{araç}a_x = F_{xf} + F_{xr} - F_r \quad (77)$$

Yukarıda verilen denklemlerde, γ , dönen kütle faktörünü, $m_{araç}$, araç kütleini, f , yuvarlanma direnç katsayısını, F_{xf} , F_{xr} , araca etkiyen toplam ön ve arka çekiş ya da fren kuvvetlerini, a_x , boylamasına ivmeyi ifade etmektedir. Yukarıda $\gamma m_{araç}a_x$ terimi ivmelenme kuvveti olarak ifade edilmiştir.



Şekil 144. Benzetimlerin yapıldığı sürüş çevrimi hız ve ivme profilleri

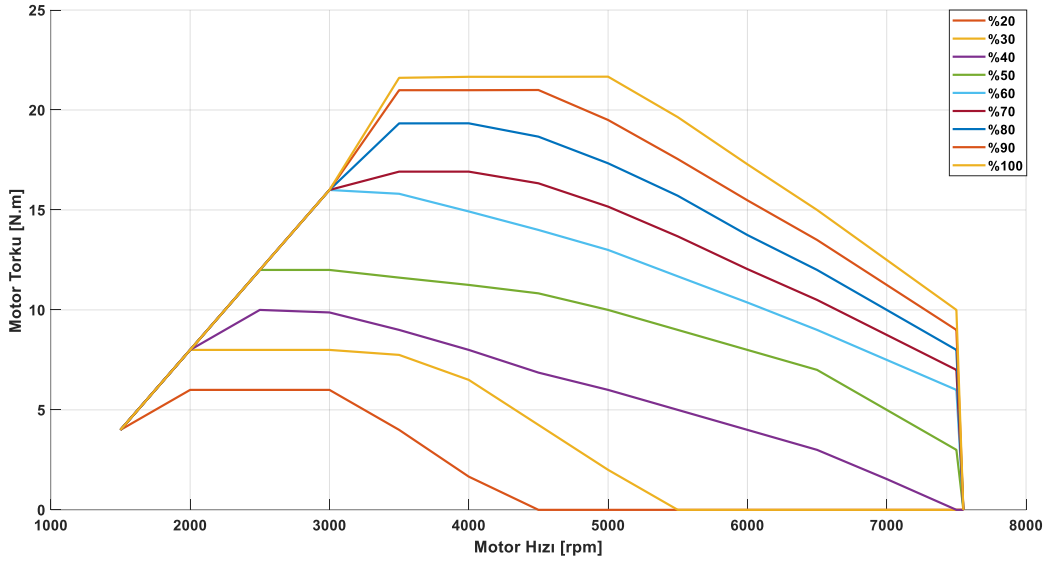


Şekil 145. Dinamometre üzerinde araca uygulanan yol direnç kuvvetleri ve güç isteği

Dinamometre benzetimlerinde araç modelinde, içten yanmalı motor, elektrik motoru, CVT modeli ve batarya modelleri oluşturulmuştur. Kullanılan elektrik motor/içten yanmalı motor modellerinde motor hızı ve pedal girdisine bağlı olan tork haritası kullanılmaktadır. İçten yanmalı motora bağlanan CVT modelinde, yapılan deneyler neticesinde oluşan (Bkz. Bölüm 6.9.2) motor hızı ve pedal girdisine bağlı redüksiyon oranı haritası kullanılmaktadır. Batarya modellemesi eşdeğer bir devre diyagramı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

7.2.1 İçten Yanmalı Motor ve CVT

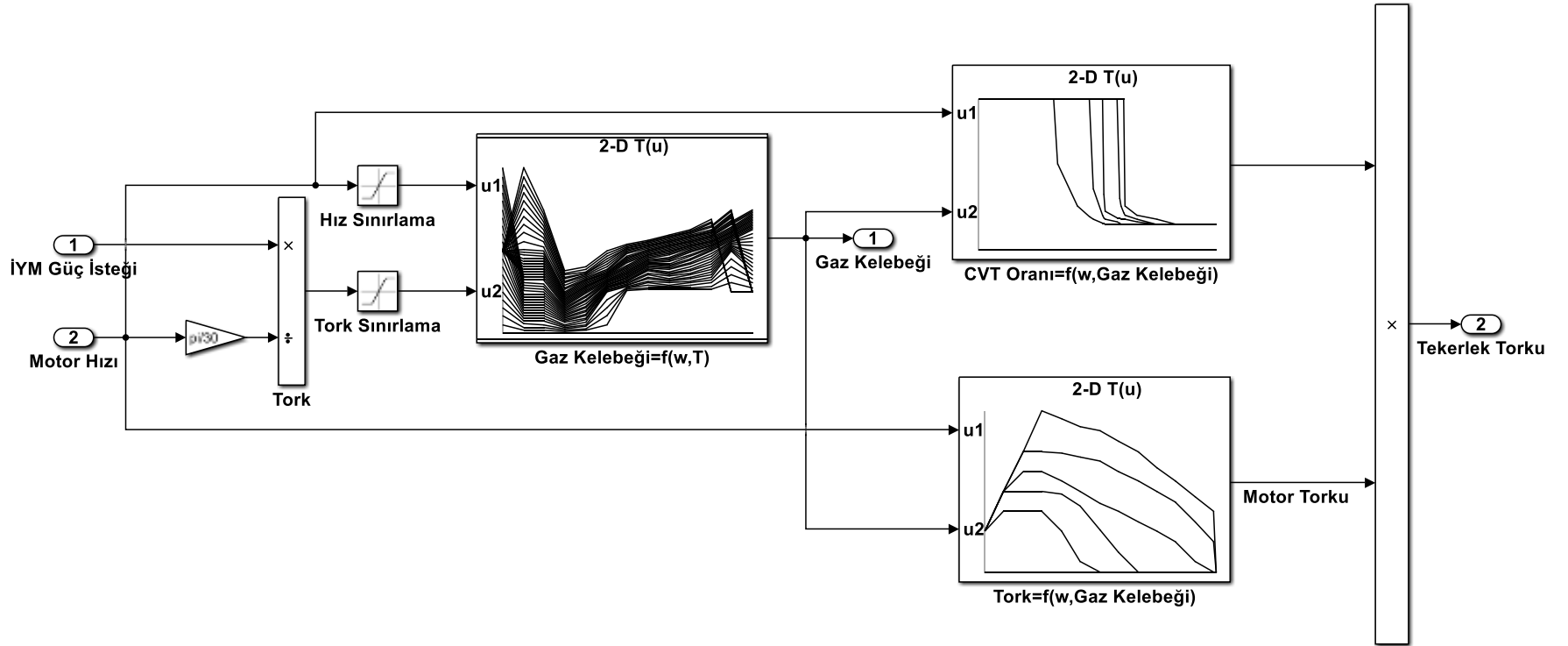
İçten yanmalı motor benzetiminde şasi dinamometre testleri yapılarak üretilmiş Devir-Tork haritası ve pedal haritası (Tersine tork haritası) kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm 6.10.1). İçten yanmalı motorun, 1500- 7500 rpm arasında farklı kelebek açılarında üretebileceği tork değerleri Şekil 146 ile gösterilmektedir. Mevcut çalışmada, gerçek zamanlı testlerde güvenlik amaçlı düşük güç istekli sürüş çevrimleri oluşturulduğu için içten yanmalı motor, hibrit benzetimlerde %30 gaz kelebeği pozisyonuyla sınırlandırılmıştır. Yola aktarılan torku tanımlama adına, Bölüm 5.9.2’de tanımlanmış CVT modeli kullanılmıştır. Bununla birlikte, sürüş çevrimine göre türetilen tork isteğini üretebilmek adına tork haritasının tersi oluşturulmuştur. İçten yanmalı motor ve CVT modeline ait Simulink blok diyagramı iŞekil 147 ile gösterilmektedir.



Şekil 146. İçten yanmalı motor tork haritası

Şekil 147 ile gösterilen blok diyagramında, sürüş çevriminden türetilen tork değeri, öncelikle tersine tork haritasına girmektedir ve içten yanmalı motorun hızına bağlı olarak bahsi geçen torku üretebilmesi için gerekli gaz kelebeği pozisyonu belirlenmektedir. Belirlenen gaz kelebeği pozisyonu tork haritasına gönderilerek motorun gerçekte üretebileceği tork değeri üretilmektedir. Aynı zamanda, oluşan gaz kelebeği pozisyonu ve motor hızına göre gerçekleşen CVT oranı hesaba katılarak arka tekerleğe aktarılan tork miktarı elde edilmektedir.

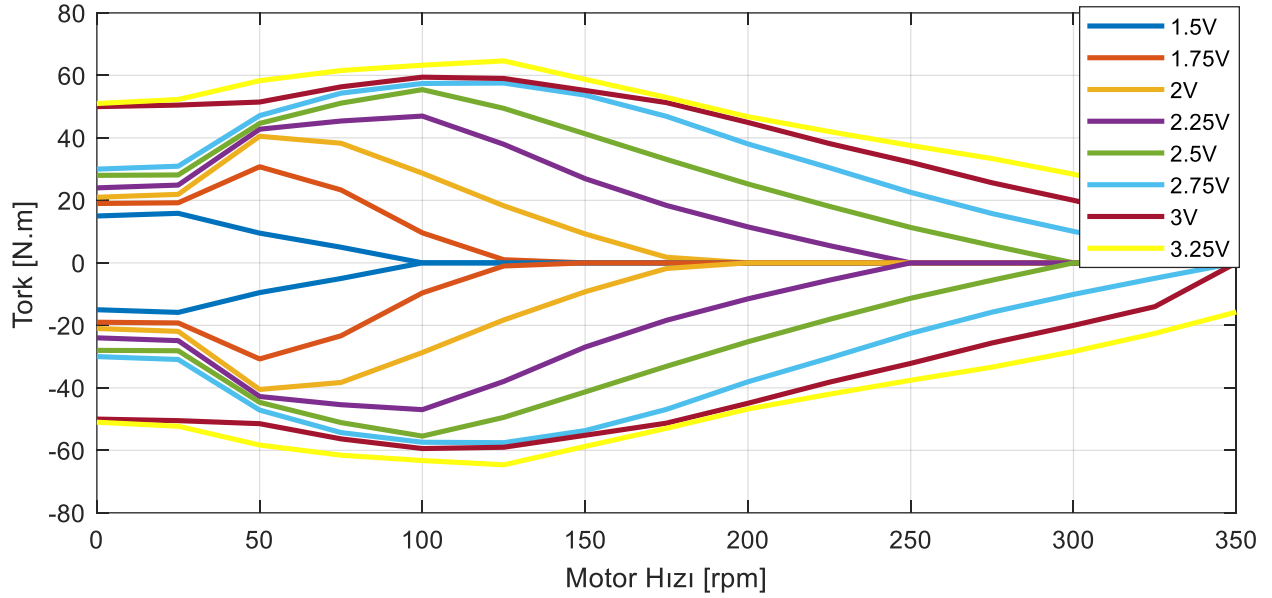
Not: Bölüm 8’deki deneysel uygulamada tersine haritadan oluşan sinyaller doğrudan donanıma uygulanacaktır.



Şekil 147. İçten yanmalı motor ve CVT modeline ait Simulink blok diyagramı

7.2.2 Elektrik Motor

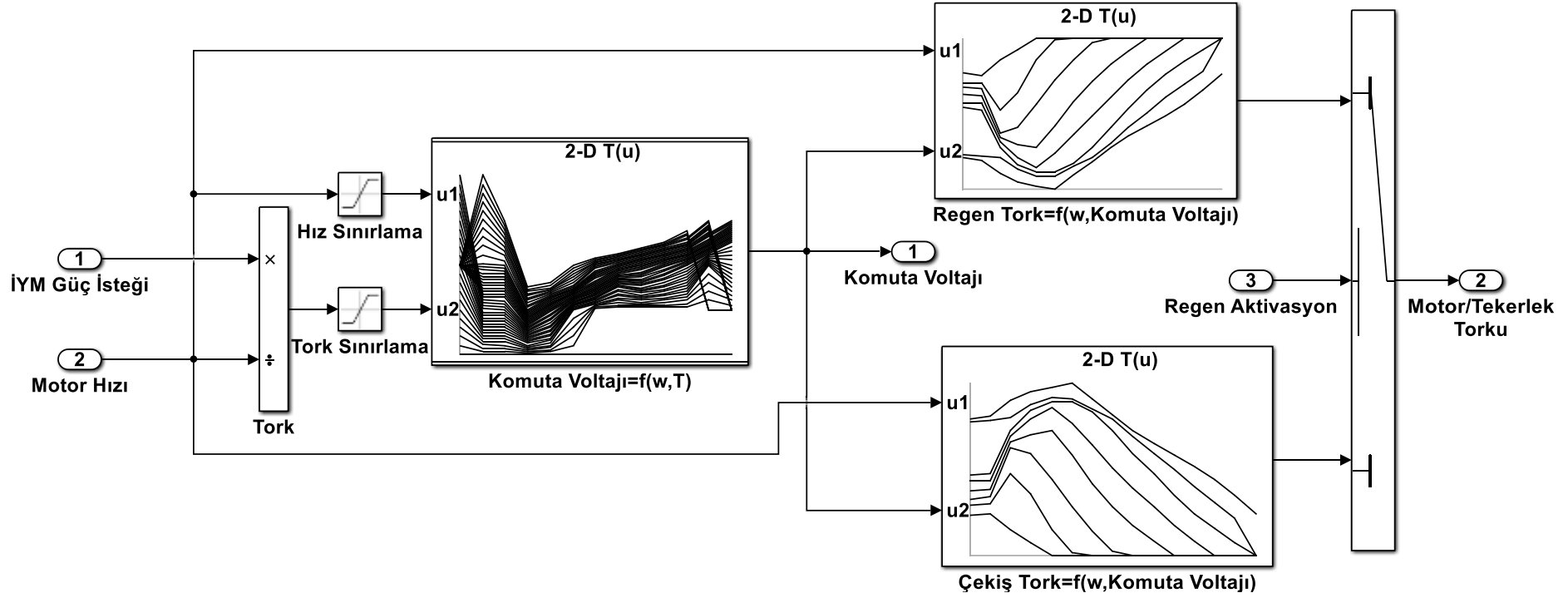
Elektrik motor benzetiminde, içten yanmalı motorda olduğu gibi, şasi dinamometre testleri yapılarak üretilmiş Devir- Tork haritası ve pedal haritası (Tersine tork haritası) kullanılmaktadır (Bkz. Bölüm 6.11). Elektrik motor modelinde ilk olarak, deneylerden elde edilen farklı komuta voltaj değerlerine karşılık üretilen çekiş ve regen tork değerleri hesaplanmaktadır. Elektrik motorunun regen bölgesi çekiş bölgesinde oluşan tork haritasının ters işaretlisi olarak kabul edilerek modele eklenmiştir (Bkz. Şekil 148). Modelin regen ve çekiş bölgesi için aynı komuta voltajları kullanılmakta, regen moduna geçebilmek için güç isterine göre anahtarlama uygulanmaktadır.



Şekil 148. Elektrik motor tork haritası

Sürüş çevrimine göre üretilen tork isteği, öncelikle tersine elektrikli motor haritasına girerek motor hızına bağlı olarak komuta voltaj değeri oluşturulmaktadır. Sonrasında belirlenen komuta voltaj değerine göre tork haritasında üretilecek tork değeri üretilmektedir (Bkz. Şekil 149).

Not: Bölüm 8'deki deneysel uygulamada tersine haritadan oluşan sinyaller doğrudan donanıma uygulanacaktır.



Şekil 149. Elektrik motor modeline ait Simulink blok diyagramı

7.2.3 Batarya Modeli

Çalışmada kullanılan prototip aracın batarya modeli Bölüm 4.6 içerisinde aktarılmaktadır.

7.3 Tambur Modeli

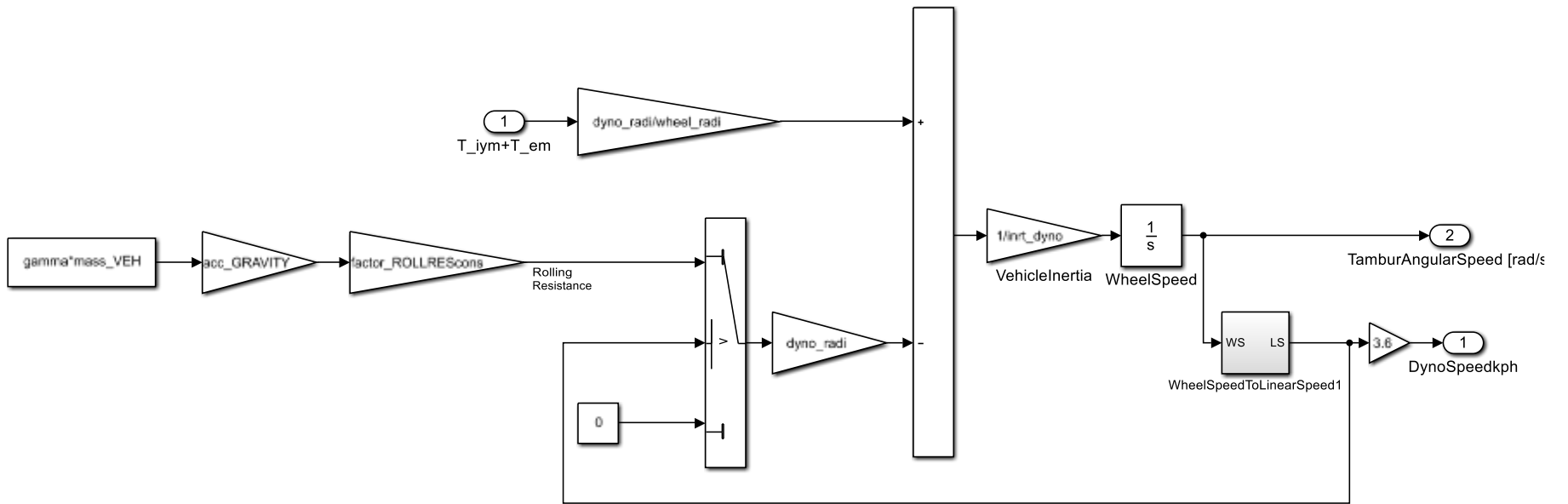
Tambur modelinde, elektrikli ve içten yanmalı motor modellerinin tork çıktısı ve yol yükleri tambur dinamiğini oluşturmaktadır. Bölüm 0'de aktarıldığı gibi tambur üzerinde oluşacak yol yükü yuvarlanma ve ivmelenme direnci olarak tanımlanmaktadır. Yük torku hesaba katılarak tamburun ataletine göre oluşan tambur açısal hızı hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda, tambur modeli Denklem 78'deki gibi ifade edilmektedir.

$$J_t \dot{w}_t = (T_{iym} i_{cvt} + T_{em}) \frac{r_t}{r_w} - M_r \quad (78)$$

Denklem 78'de, J_t , tambur ataleti, w_t , tambur açısal hızı, T_{iym} , içten yanmalı motor tork değeri, i_{cvt} , CVT redüksiyon oranı, T_{em} , elektrik motor tork değeri, r_t , tambur yarıçapı, r_w , tekerlek yarıçapı, M_r , yuvarlanma direnci momenti olarak ifade edilmektedir.

Benzetim ortamında kurulan tambur model blok diyagramı Şekil 150 ile gösterilmektedir.

Tambur modelinin oluşturulmasıyla beraber sanal dinamometre hibrit algoritma benzetimleri için kurulan genel Simulink model blok diyagramı Şekil 151 ile gösterilmektedir.



Şekil 150. Tambur modeli Simulink blok diyagramı

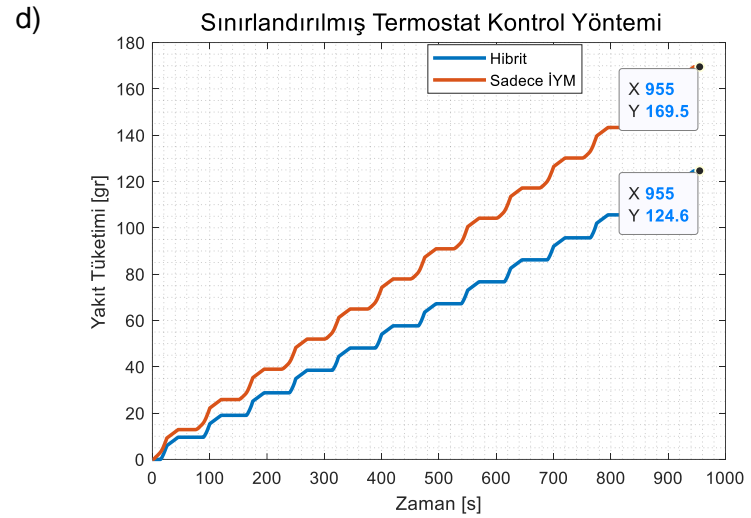
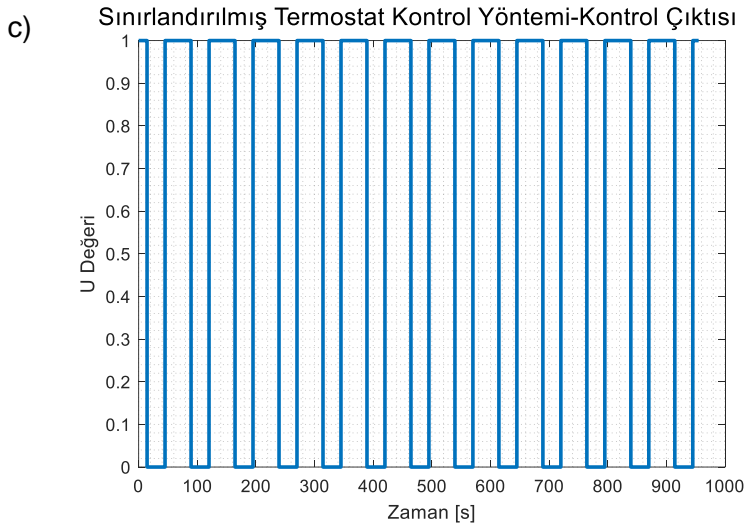
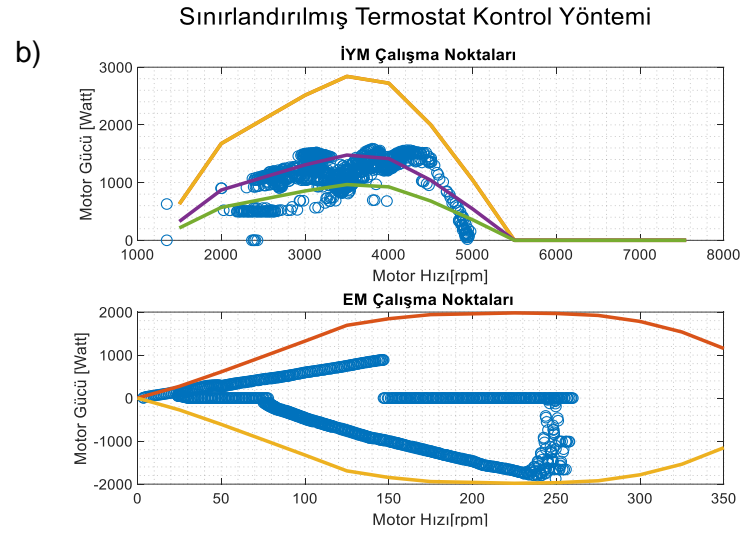
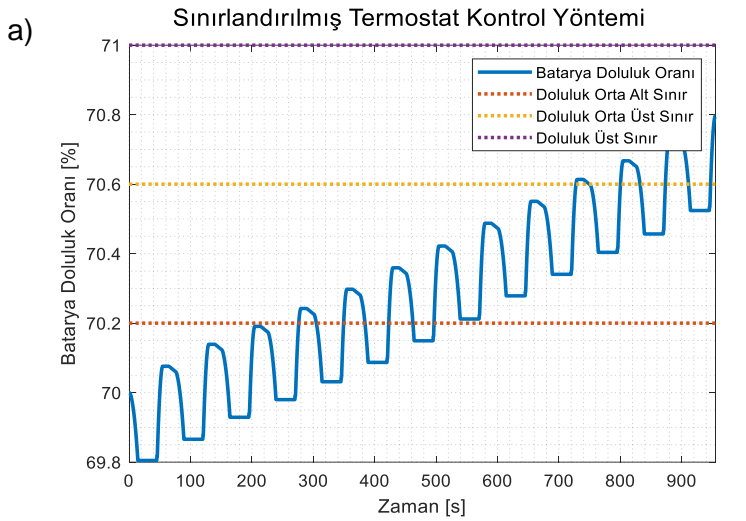
7.4 Benzetim Sonuçları

Dinamometre üzerinde hibrit araç benzetiminde, kural tabanlı Sınırlandırılmış Termostat, Maksimum Batarya Doluluk stratejisi ve optimizasyon tabanlı Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY) koşturulmuştur. Maksimum Batarya Doluluk stratejisinde optimum çalışma tork eğrisi %30 kelebek oranı olarak tanımlanmıştır. Mevcut projede, deneylerde kullanılmak üzere 3 kW.h'lık batarya paketi temin edilmiştir. Batarya kapasitesi, üretilen hibrit araç protipi için oldukça yüksektir. Hibrit algoritma benzetimlerinde batarya doluluk oranındaki değişimlerini daha etkin bir şekilde yaşatabilmek adına mevcut batarya dışında bir adet küçük kapasiteli (175Wh) batarya modeli oluşturulmuştur. Her iki batarya kapasitesine göre hibrit algoritma benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Hibrit kontrol stratejileri başlangıç batarya doluluk oranları %70 olarak belirlenmiştir.

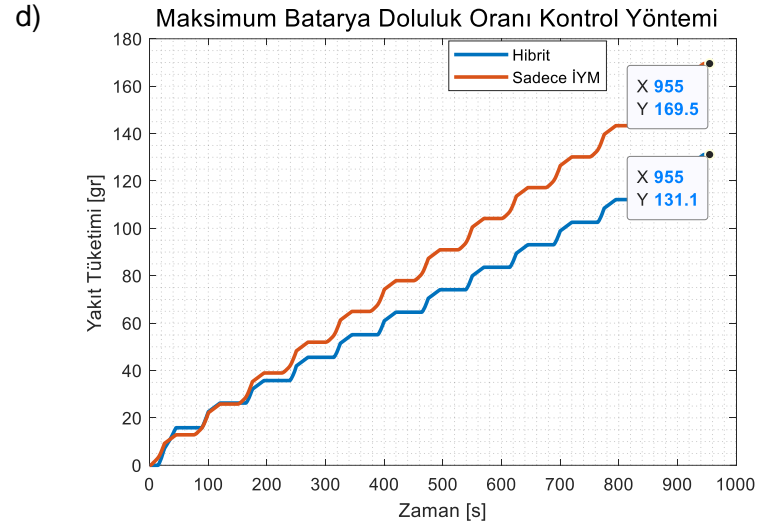
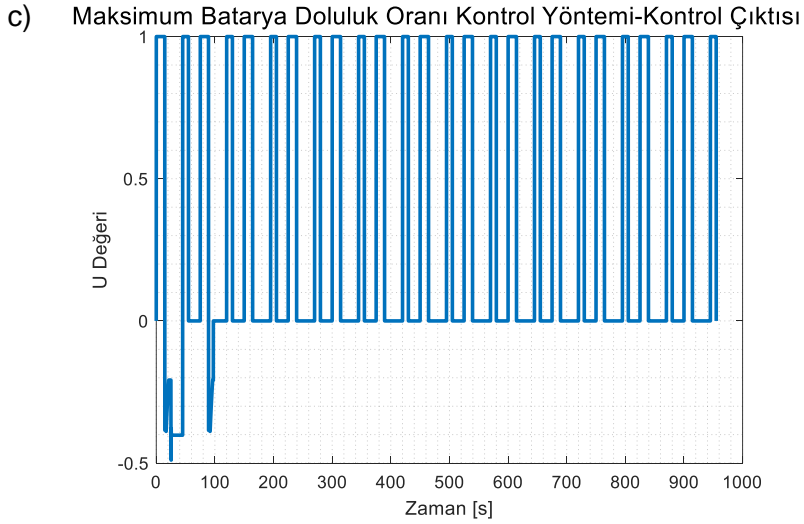
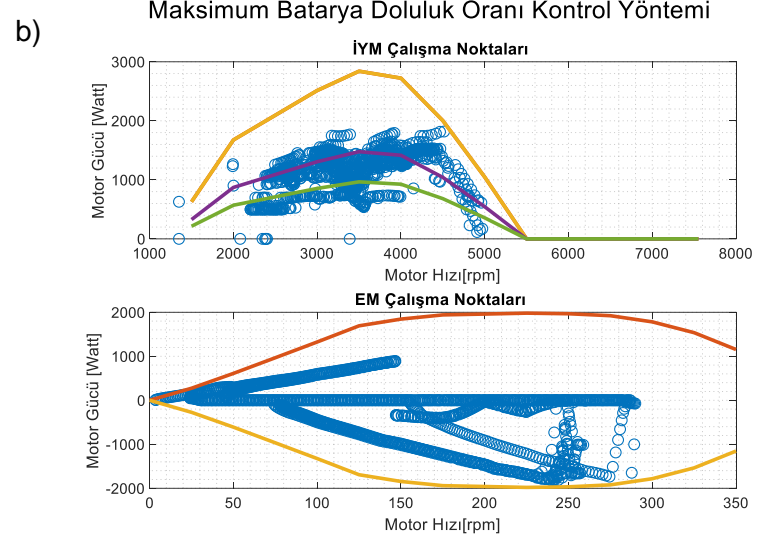
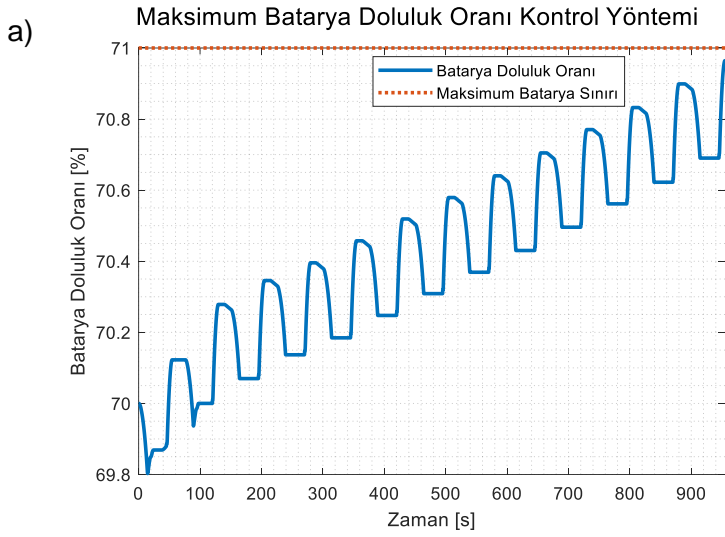
Büyük batarya paketi benzetimlerinde EEMY için benzetim sonunda %70 batarya doluluk oranında bitirmesi, Maksimum Batarya Doluluk stratejisinde ise %71 maksimum batarya doluluk seviyesinde bitirmesi, Sınırlandırılmış Termostat stratejisi için minimum ve maksimum %69-%71 arasında olması beklenmektedir.

Küçük batarya paketi benzetimlerinde Maksimum Batarya Doluluk stratejisinde ise %80 maksimum batarya doluluk seviyesinde bitirmesi ve Sınırlandırılmış Termostat stratejisi için minimum ve maksimum %60-%80 arasında olması beklenmektedir. Büyük batarya paketine göre yapılan benzetimler Şekil 152, Şekil 153 ve Şekil 154 ile gösterilmektedir.

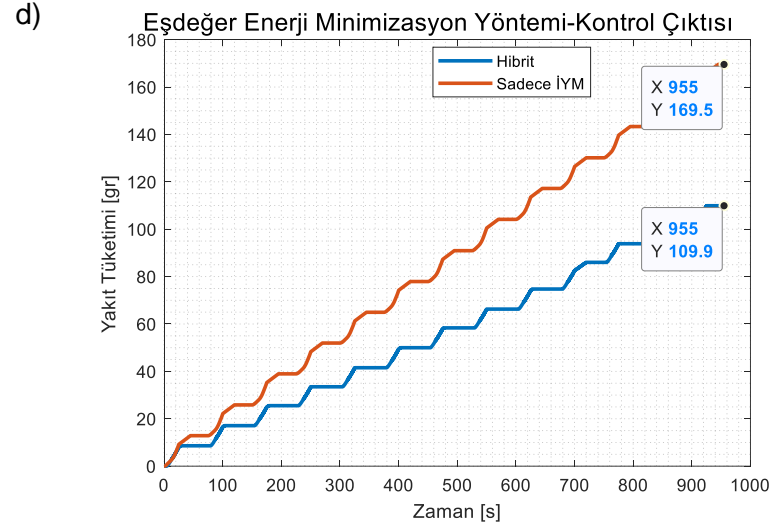
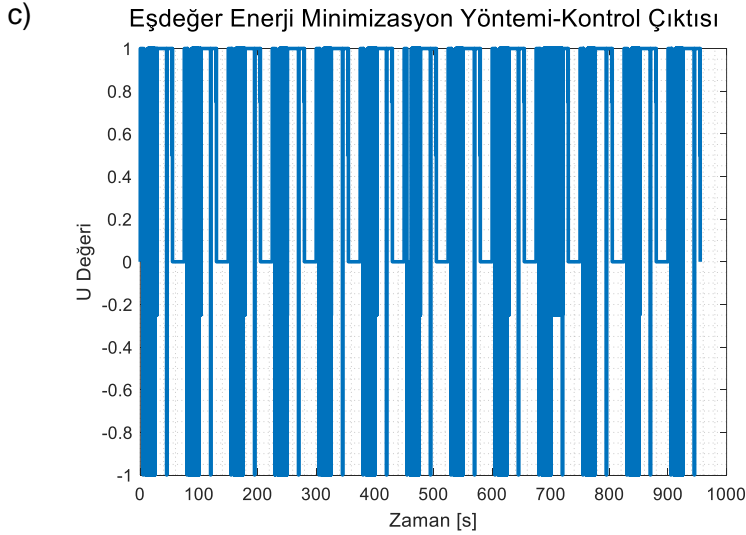
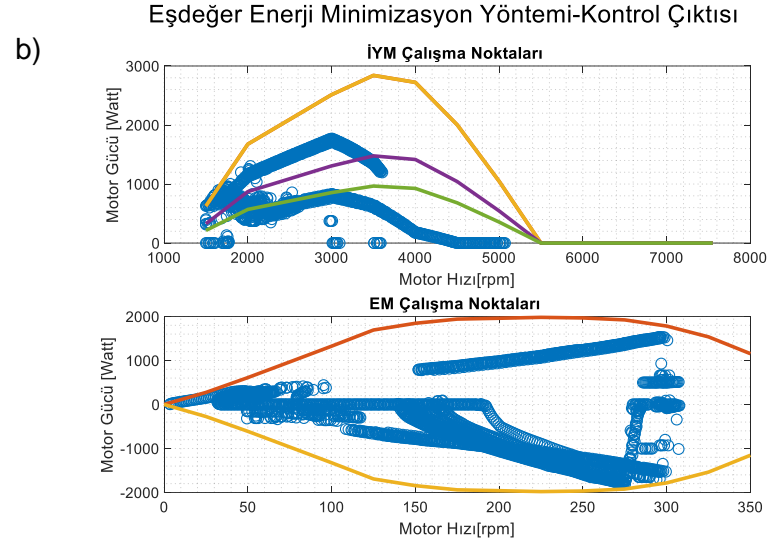
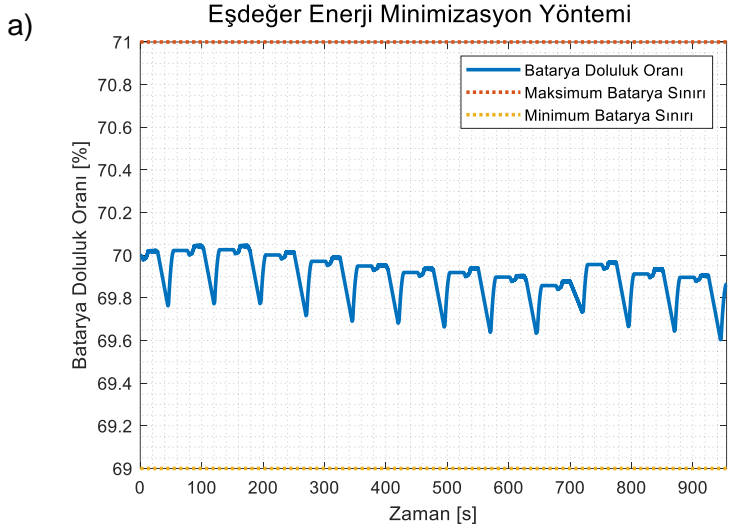
Küçük batarya paketine ait sonuçlar ise Şekil 155, Şekil 156 ve Şekil 157 ile gösterilmektedir. Hibrit algoritmalara ait batarya doluluk oranları ve yakıt tüketim miktarları Tablo 34 ve Tablo 35 ile verilmektedir.



Şekil 152. Sanal dinamometre üzerinde Sınırlandırılmış Termostat kontrol stratejisi sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi

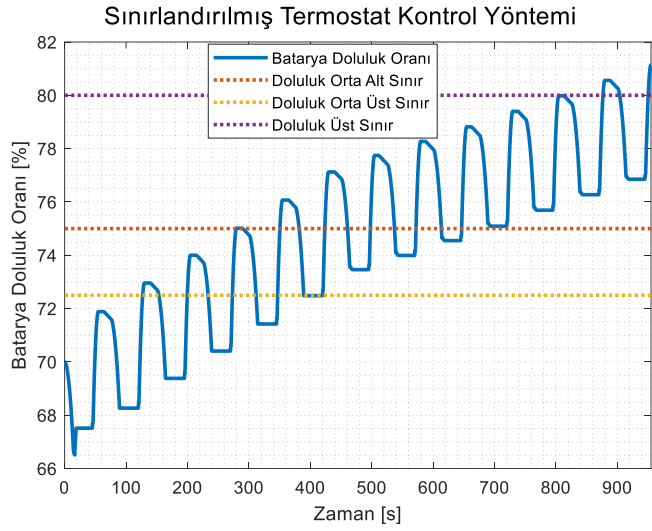


Şekil 153. Sanal dinamometre üzerinde Maksimum Batarya Doluluk Oranı kontrol stratejisi sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi

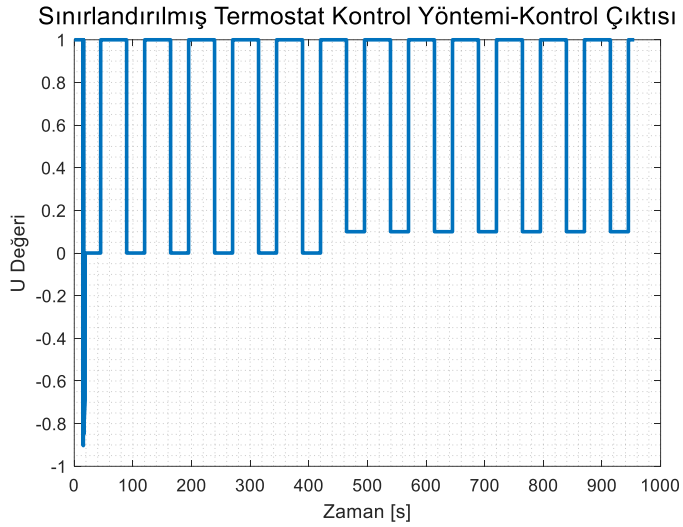


Şekil 154. Sanal dinamometre üzerinde EEMY sonuçları (Büyük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi

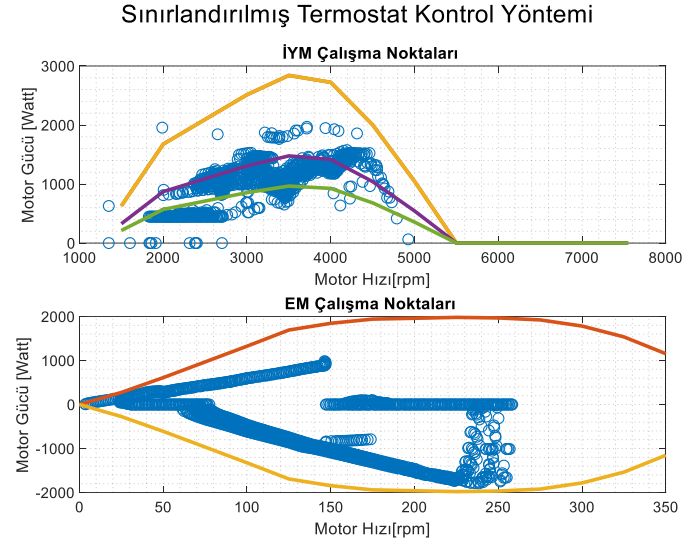
a)



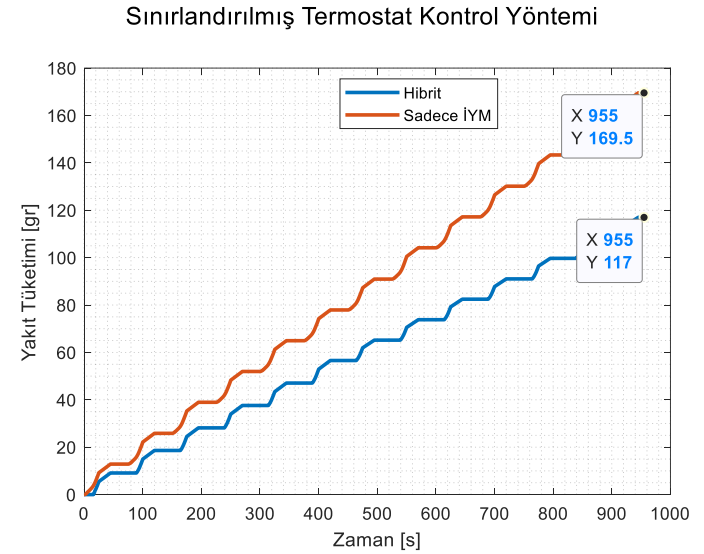
c)



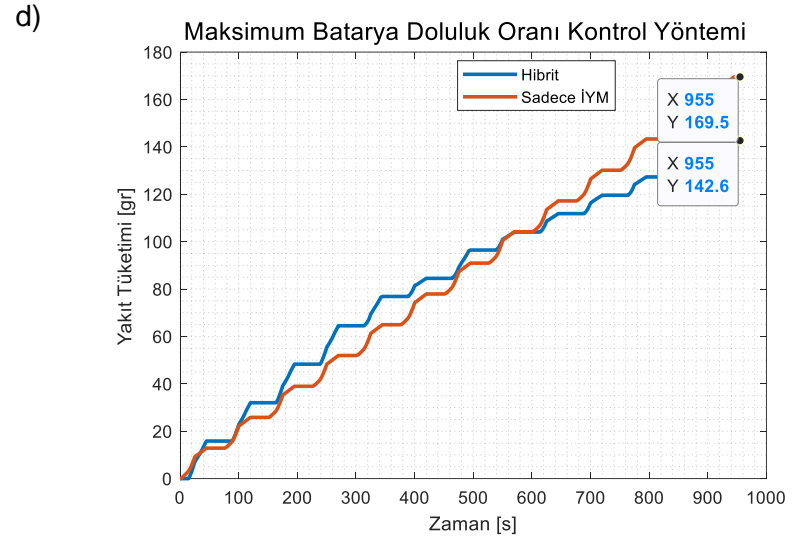
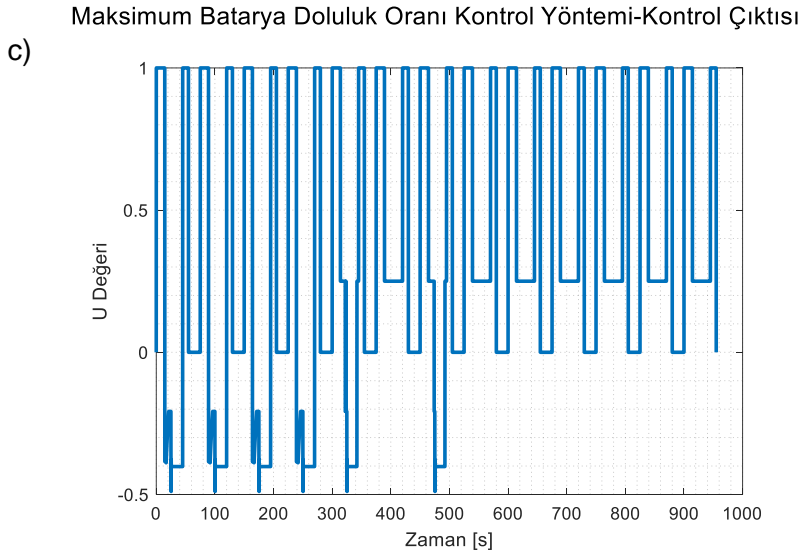
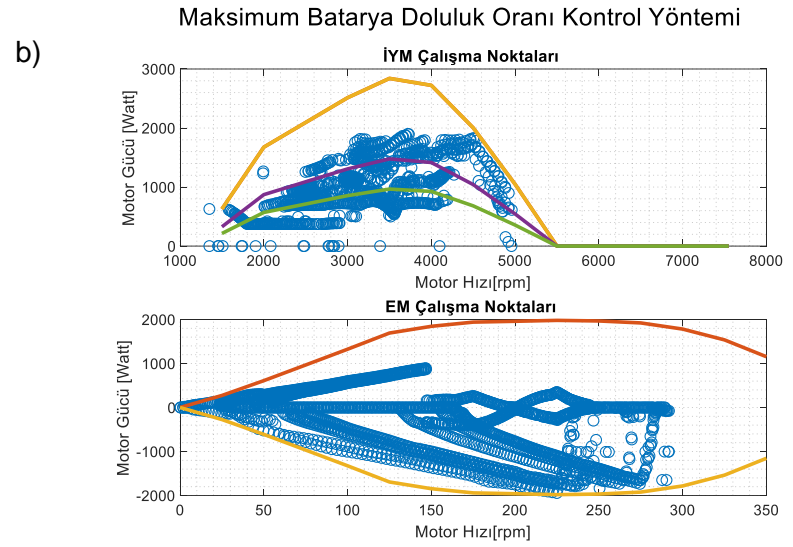
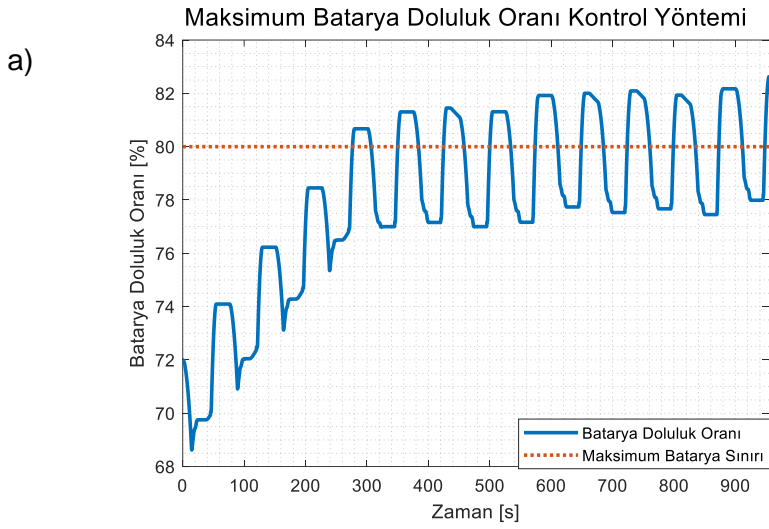
b)



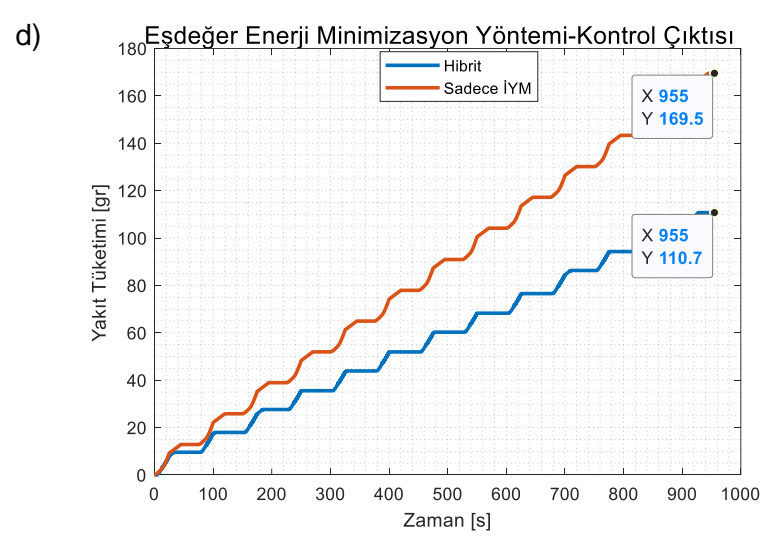
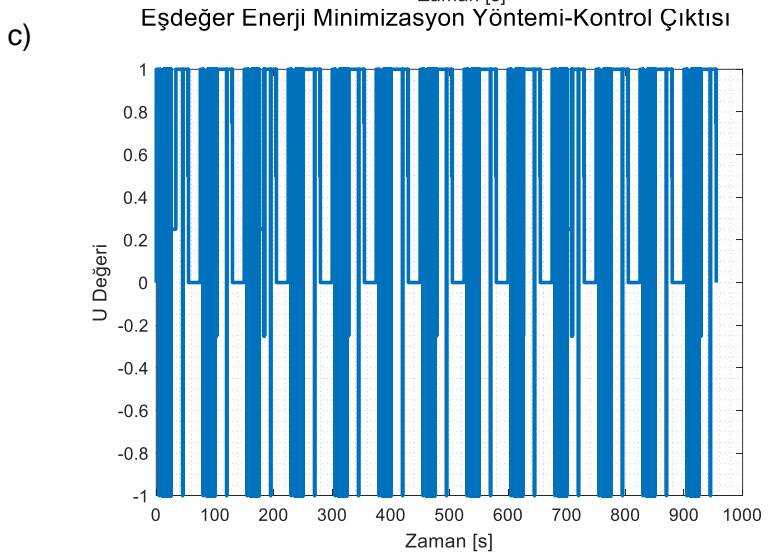
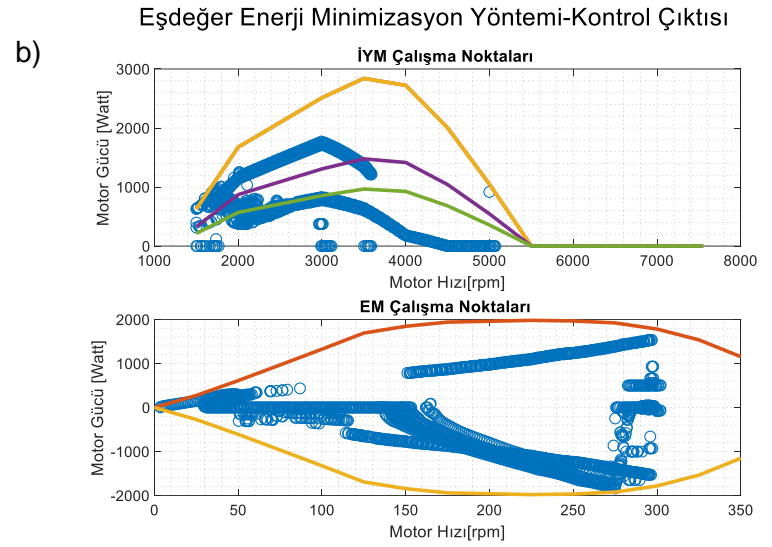
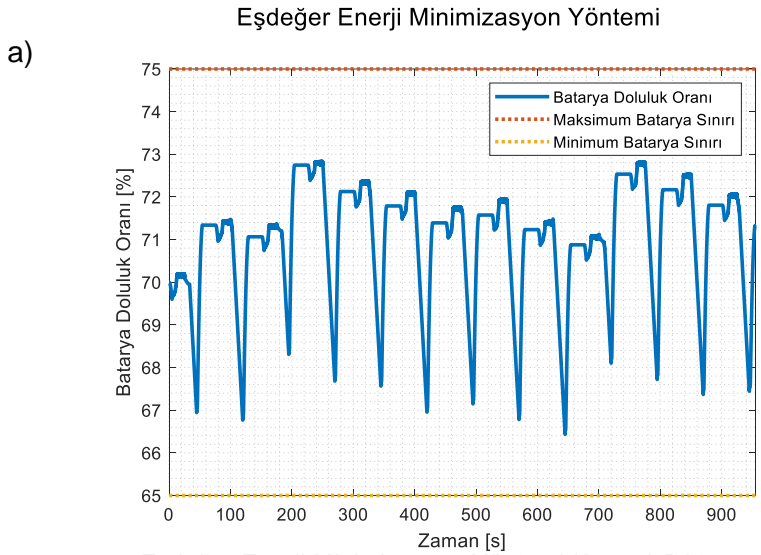
d)



Şekil 155. Sanal dinamometre üzerinde Sınırlandırılmış Termostat kontrol stratejisi sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi



Şekil 156. Sanal dinamometre üzerinde Maksimum Batarya Doluluk kontrol stratejisi sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi



Şekil 157. Sanal dinamometre üzerinde EEMY sonuçları (Küçük batarya paketi) a) Batarya doluluk oranları b) İYM ve EM çalışma noktaları c) Algoritma kontrol çıktısı d) Yakıt tüketimi

Tablo 34. Büyük batarya paketiyle hibrit algoritma çıktıları, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları

Durum	Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	169,5	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	124,5	70,8	26,55
Maks. Batarya Doluluk Oranı	131,1	70,95	22.65
EEMY	109,9	69,90	35,16

Tablo 35. Küçük batarya paketiyle hibrit algoritma çıktıları, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları

Durum	Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	169,5	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	117	81	30.97
Maks. Batarya Doluluk Oranı	142.6	82,5	15.87
EEMY	110.7	71	34,69

7.5 Sonuç

Bu bölümde, prototip araç ve tambur modeli kurularak hibrit enerji yönetim algoritmalarının performansları sanal ortamda sınanmıştır. Benzetim sonuçlarına bakıldığında, her iki batarya büyüklüğü için de EEMY diğer yöntemlere göre çok daha az yakıt tüketimi sağlamaktadır. Kural tabanlı algoritmalar içerisinde Sınırlandırılmış Termostat algoritması her iki batarya paketi için diğer yöntemlere göre daha az yakıt tüketmektedir. Bunun yanı sıra, Maksimum Batarya Doluluk Oranı stratejisi tüm benzetimlerde çevrim sonunda, algoritma içerisinde belirtilen maksimum batarya doluluk sınırına ulaşabilmektedir. Bir sonraki bölümde, üretilen araç ile dinamometre üzerinde gerçek zamanlı hibrit algoritma testleri gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 8. DİNAMOMETRE TESTLERİYLE HİBRİT ENERJİ YÖNETİM ALGORİTMALARININ PERFORMANS TESPİTİ

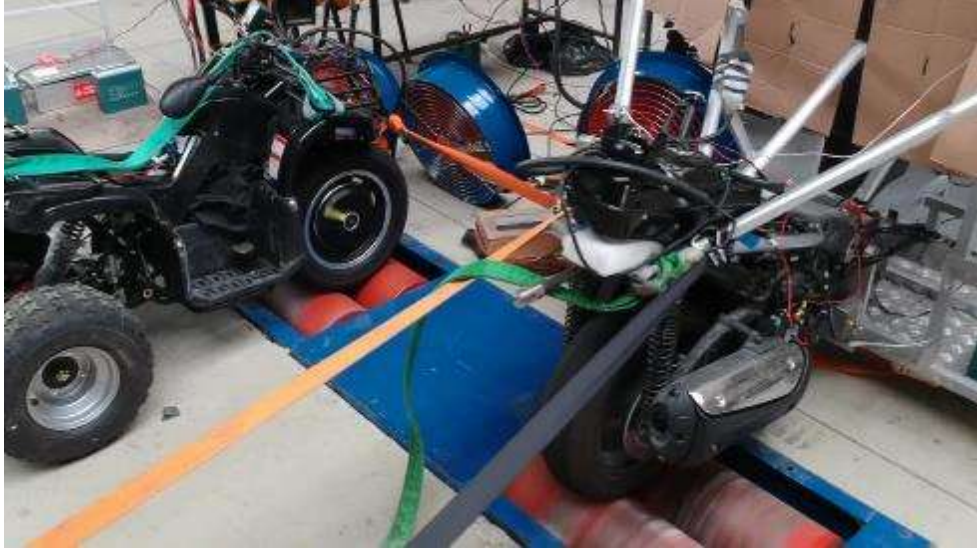
8.1 Giriş

Bölüm 7'de, kurgulanan hibrit itki mimarisi ve kontrol algoritmalarına uygun bir şekilde aracın, sanal ortamda, dinamometre üzerinde benzetimleri yapılarak hibrit enerji yönetim algoritmaları sınanmıştır. Bu bölümde ise, dinamometre deney düzeneği üzerinde, üretilen ayrık akstan paralel hibrit mimarisine sahip taşıt ile kontrollü testler yapılabilmesi adına ön tekerleklere tahrik veren jant içi elektrik motorları başka bir taşıta monte edilmiş ve Bölüm 6'da sanal olarak gerçekleştirilen testler gerçek donanım üzerinde tekrarlanmıştır (Bkz. Şekil 158).



Şekil 158. Jant içi elektrik motorların ATV taşıtının ön aksına entegrasyonu

Jant içi elektrik motorların sökülerek başka bir taşıta alınması dinamometre tamburlarının eş zamanlı olarak elektrikli motor ve İYM ile tahrik edilmesini mümkün kılmıştır. Taşıtlar Şekil 159 ile gösterildiği gibi dinamometre tamburları üzerine paralel bir şekilde konumlandırılmıştır. Testler sırasında beklenmedik denge kayıplarına karşın yük gerdirme halatlarıyla taşıtlar sabitlenmiştir. Mevcut hibrit taşıt platformu yol testlerine uygun olmasına rağmen, kontrollü deney yapmak ve donanım kaynaklı çıkabilecek sorunları ön görmek adına dinamometre deney prosedürü uygulanmıştır.



Şekil 159. Dinamometre üzerinde taşıtların yerleştirilmesi

8.2 Basitleştirilmiş Hacettepe Kampüs-Sürüş Çevirimi

Proje kapsamında mevcut hibrit taşıtla, Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsünde tespit edilen parkurlar boyunca günün farklı saatlerinde algoritma performans testleri gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda, dinamometre deney prosedüründe uygulamak adına Beytepe kampüsünü temsil eden basitleştirilmiş bir sürüş çevirimi oluşturulmuştur.

Sürüş çevrimi tespiti için araç takip sistemiyle Hacettepe Beytepe kampüsü içerisinde Şekil 160 ile gösterilen rota üzerinde veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 160. Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsü veri toplama rotası

Veri toplama donanımı, GPS alıcısı, g-sensör ve OBD-II cihazı içermektedir. GPS alıcısı sayesinde zaman, konum bilgileri, mesafe ölçümü ve hız bilgisine ulaşabilmektedir. Bu cihaza ait örnek sürüş verisi Tablo 36 ile gösterildiği gibi kaydedilmektedir.

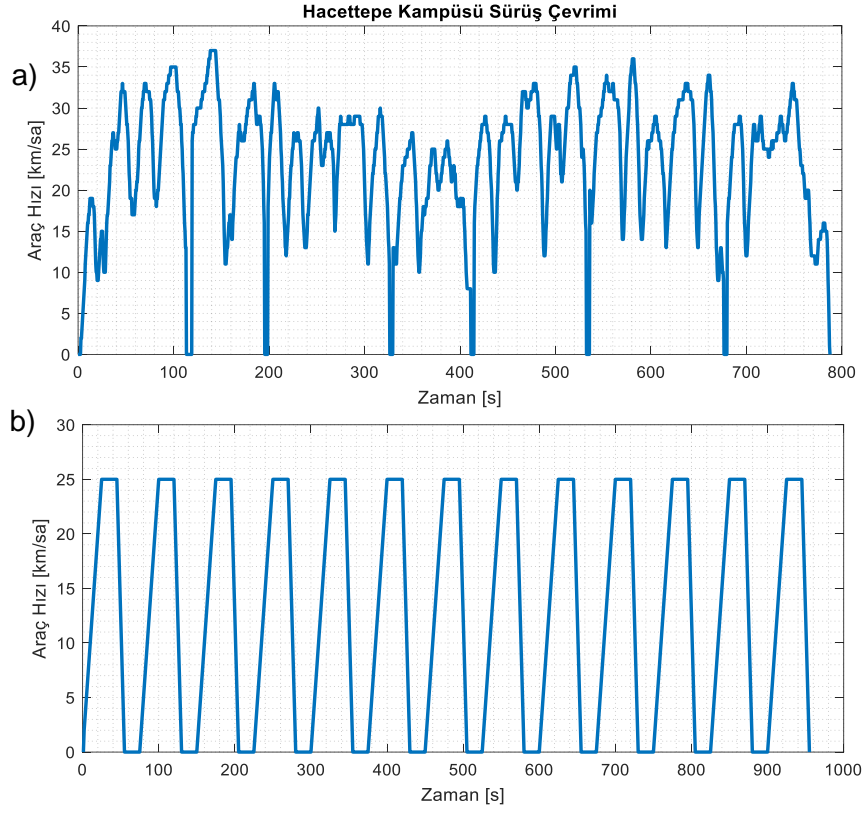
Tablo 36. Veri toplama cihazına ait örnek kayıt biçimi

Date	EIapse (s)	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Speed (km/h)	Total Distance(km)
2019-01-28 11:55:16	0,0	32,737079	39,862937	1.067,8	0,0	0,000
2019-01-28 11:55:17	1,00	32,737075	39,862916	1.067,1	8,7	0,002
2019-01-28 11:55:18	2,00	32,737064	39,862965	1.067,1	20,0	0,008

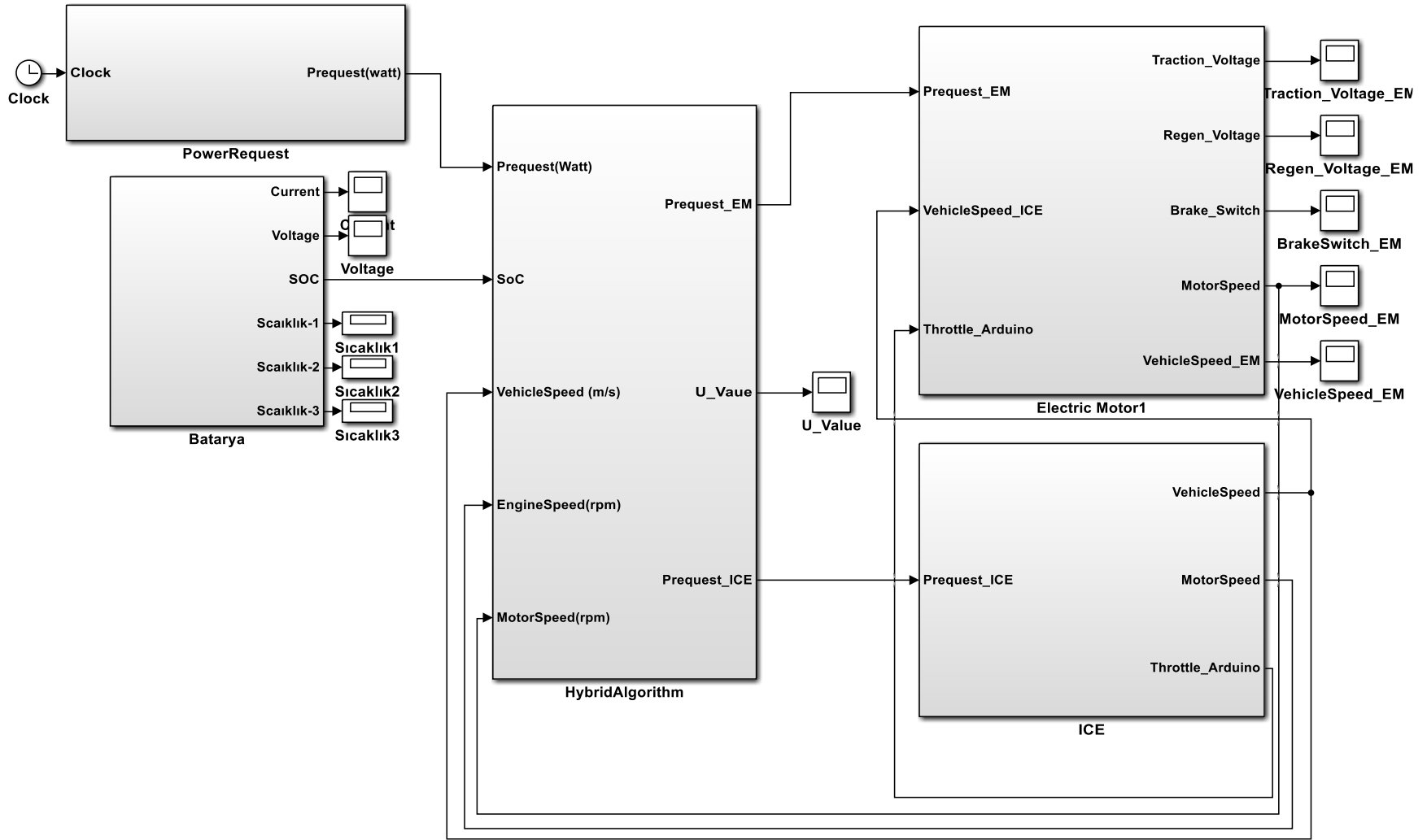
Veri toplama cihazı ile kampüs içerisinde günün farklı saatlerinde bir hafta boyunca veri toplanmıştır. Toplanan verilerin benzerliği sebebiyle veri toplama süresi yeterli görülmüştür. Toplanan veriler Bölüm 3'te anlatılan yöntemlerle gruplandırılarak Hacettepe kampüsüne ait bir sürüş çevrimi elde edilmiştir. Elde edilen sürüş çevrimi dinamometre deneylerinde kullanılması için basitleştirilerek genel bir hız-zaman profili oluşturulmuştur. Kampüs içi sürüş çevrimi ve basitleştirilmiş sürüş çevrimi Şekil 161 ile gösterilmektedir. Regen etkisinin daha açık bir şekilde görülmesi için basitleştirilmiş sürüş çevriminde aracın periyodik olarak sıfır hıza inmesi sağlanmıştır.

8.3 Hibrit Enerji Yönetim Algoritmalarının Gerçek Zamanlı Donanıma Gömülmesi

Hibrit enerji yönetim algoritmalarının dinamometre deneylerinde test edilebilmesi için dSPACE MicroAutoBox II donanımı kullanılmıştır. Oluşturulan algoritmaların sistem tarafına kodlanması Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Hibrit enerji yönetim algoritmalarını ifade eden denklemler MATLAB kütüphanesinde bulunan blok ve fonksiyonlarla oluşturulmuştur. Algoritma girdi ve çıktılarını alabilmek adına kullanılan sensör seti ve MicroAutobox II arasındaki fonksiyonların oluşturulmasında kullanılan dSPACE kütüphaneleri Bölüm 6.8.3 içerisinde anlatılmıştır. Dinamometre deneylerinde hibrit algoritma olarak, Sınırlandırılmış Termostat, Maksimum Batarya Doluluk Stratejisi ve Eşdeğer Enerji Minimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Hibrit enerji yönetim algoritmaları için kurulan Simulink model diyagramı Şekil 162 ile gösterilmektedir



Şekil 161. Deneylerde kullanılan sürüş çevrimleri a) Hacettepe kampüsü sürüş çevrimi b) Basitleştirilmiş sürüş çevrimi.



Şekil 162. Hibrit enerji yönetim algoritmaları için kurulan Simulink modeli diyagramı

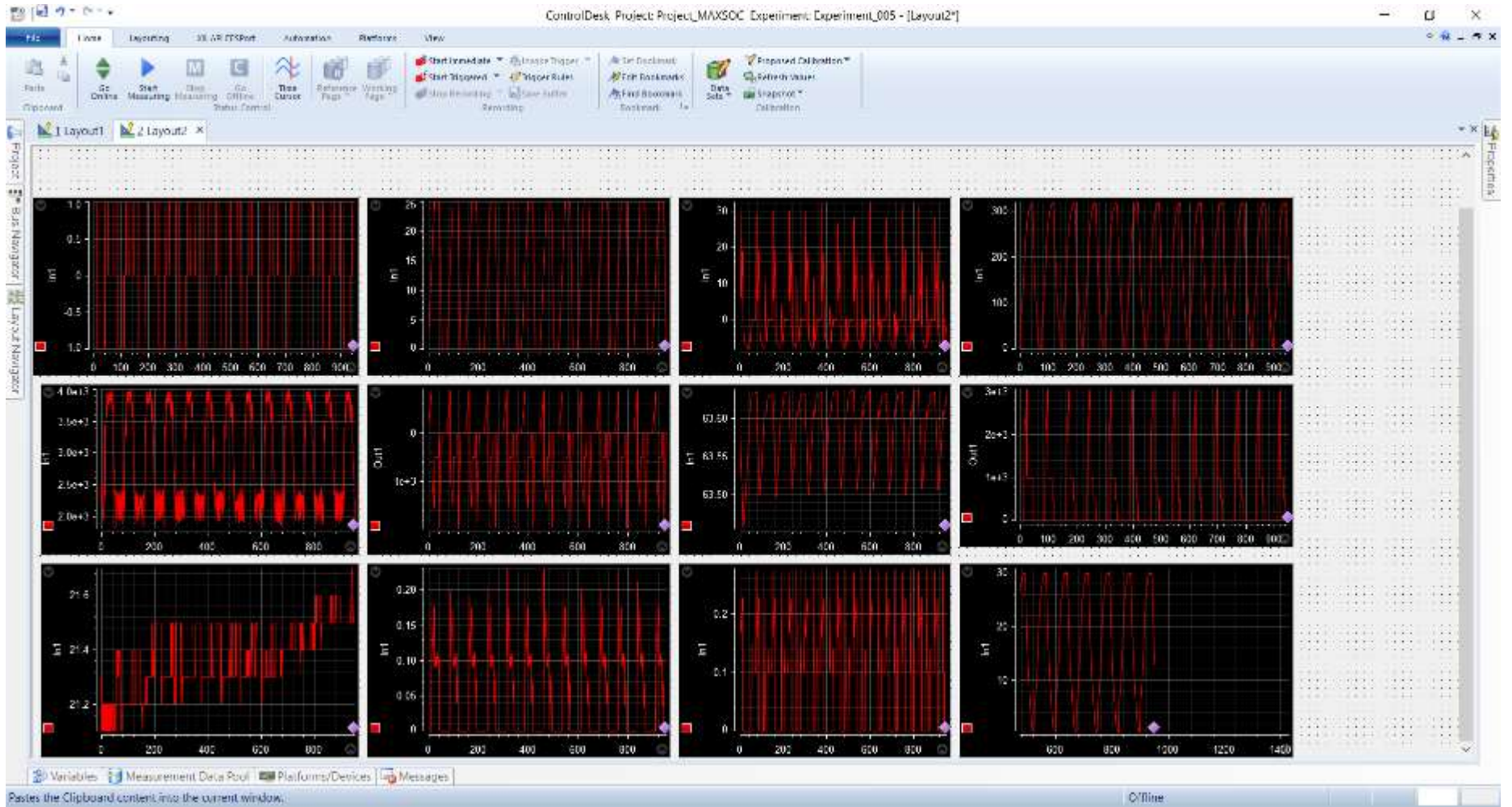
8.4 Deney Sonuçları

Deneyler esnasında, içten yanmalı motor maksimum gaz keleşbeği %30 olarak tanımlanmıştır. Elektrik motor sürücülerini için maksimum rejeneratif fren kabiliyeti % 50 olarak sınırlanmıştır. Bu sınırlama batarya, elektrik motor ve sürücüler için güvenlik amacıyla konulmuştur. Deney başlangıçlarında batarya doluluk oranları %70 olarak ayarlanmıştır.

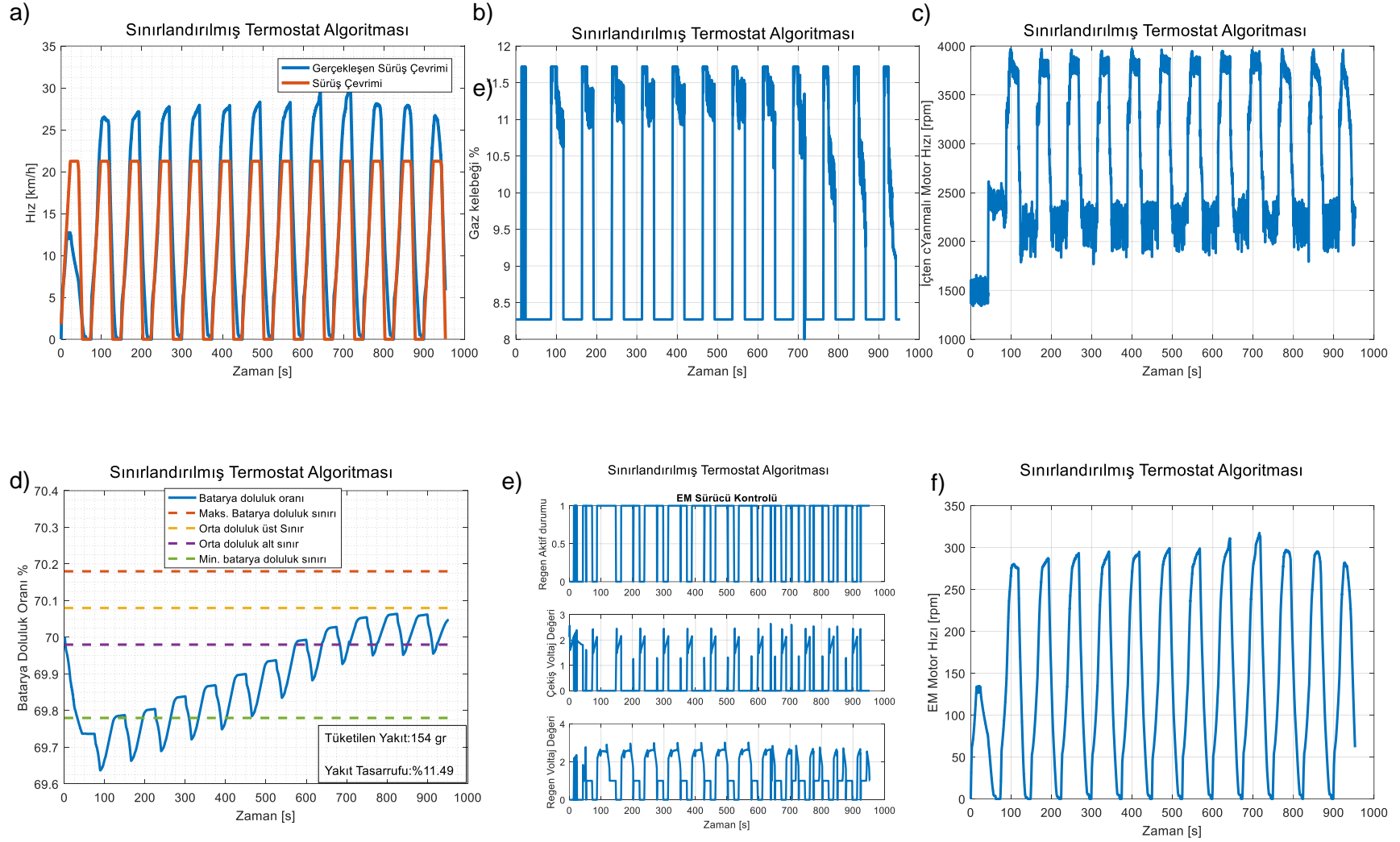
Deneylerin başında ve sonunda yakıt deposu ağırlığı ölçülerek mevcut deneyde tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır. Mevcut deneylerde, Maksimum batarya doluluk oranı için maksimum batarya doluluk sınırı %70.1 olarak belirlenmiştir. Sınırlandırılmış termostat stratejisinde minimum, orta ve maksimum batarya doluluk sınırları sırasıyla %69,8, %70-%70,1 ve %70.2 olarak tanımlanmıştır. Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yönteminde ise minimum ve maksimum batarya doluluk oranları %69.5 ile %70.4 olarak tanımlanmıştır.

Donanımlara ait sensör verilerinin hepsi dSPACE ControlDesk arayüz programı tarafından gözlemlenmiş ve kaydedilmiştir. Aynı zamanda sürüş çevriminin başlatılması ve durdurulması yine aynı arayüz program tarafından gerçekleştirilmiştir. Girdi ve çıktı sinyallerin gözlemlene görüntüsü Şekil 163 ile gösterilmektedir.

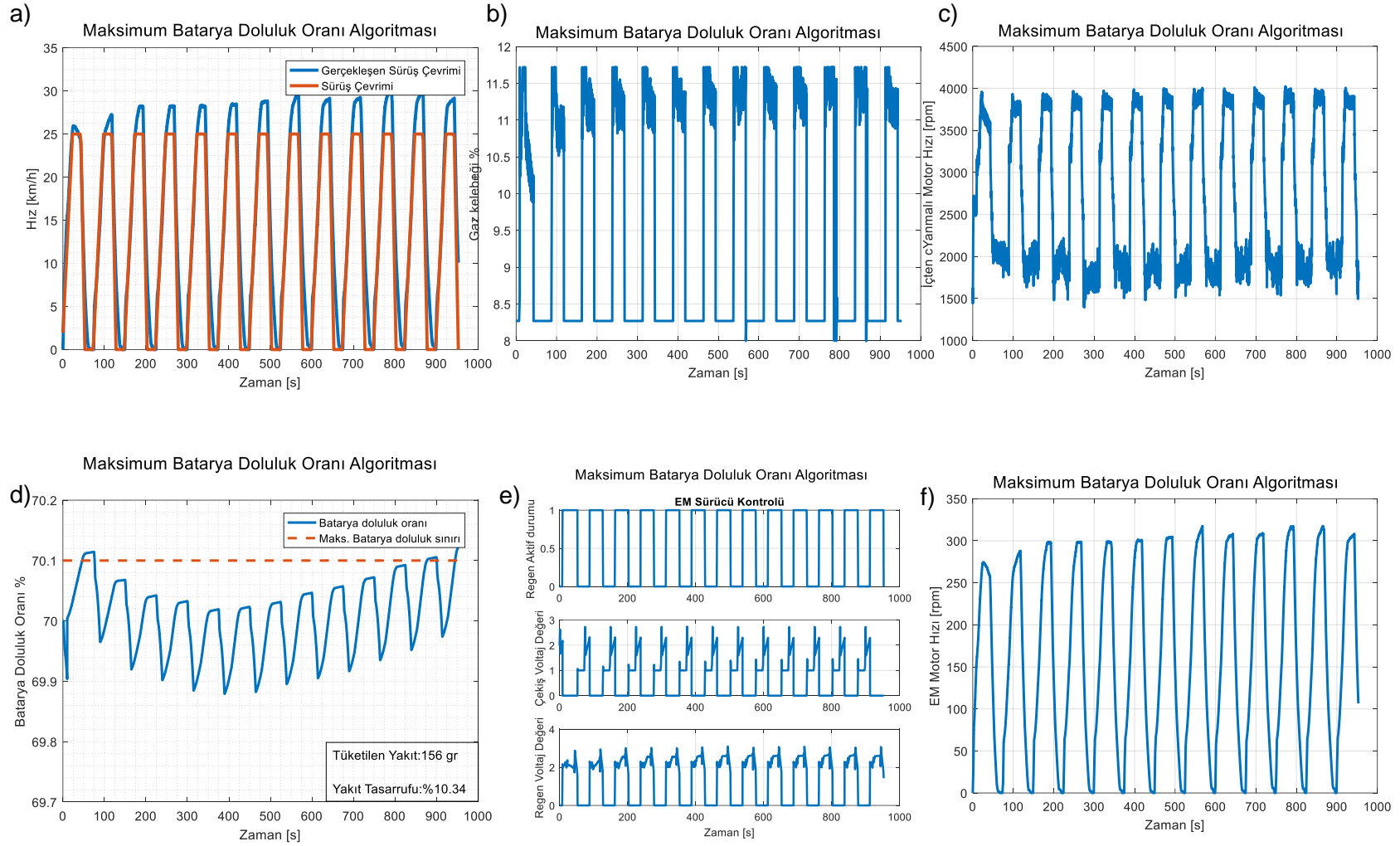
Mevcut deneylerden her algoritmaya ait örnek bir deneyin sonuç grafikleri Şekil 164, Şekil 165 ve Şekil 166 ile gösterilmektedir. Bununla beraber, yapılan tüm deneylere ait sonuçların toplu halde gösterildiği Şekil 167'te batarya doluluk oranı değişimi ve yakıt tasarrufu karşılaştırmalarına yer verilmiştir.



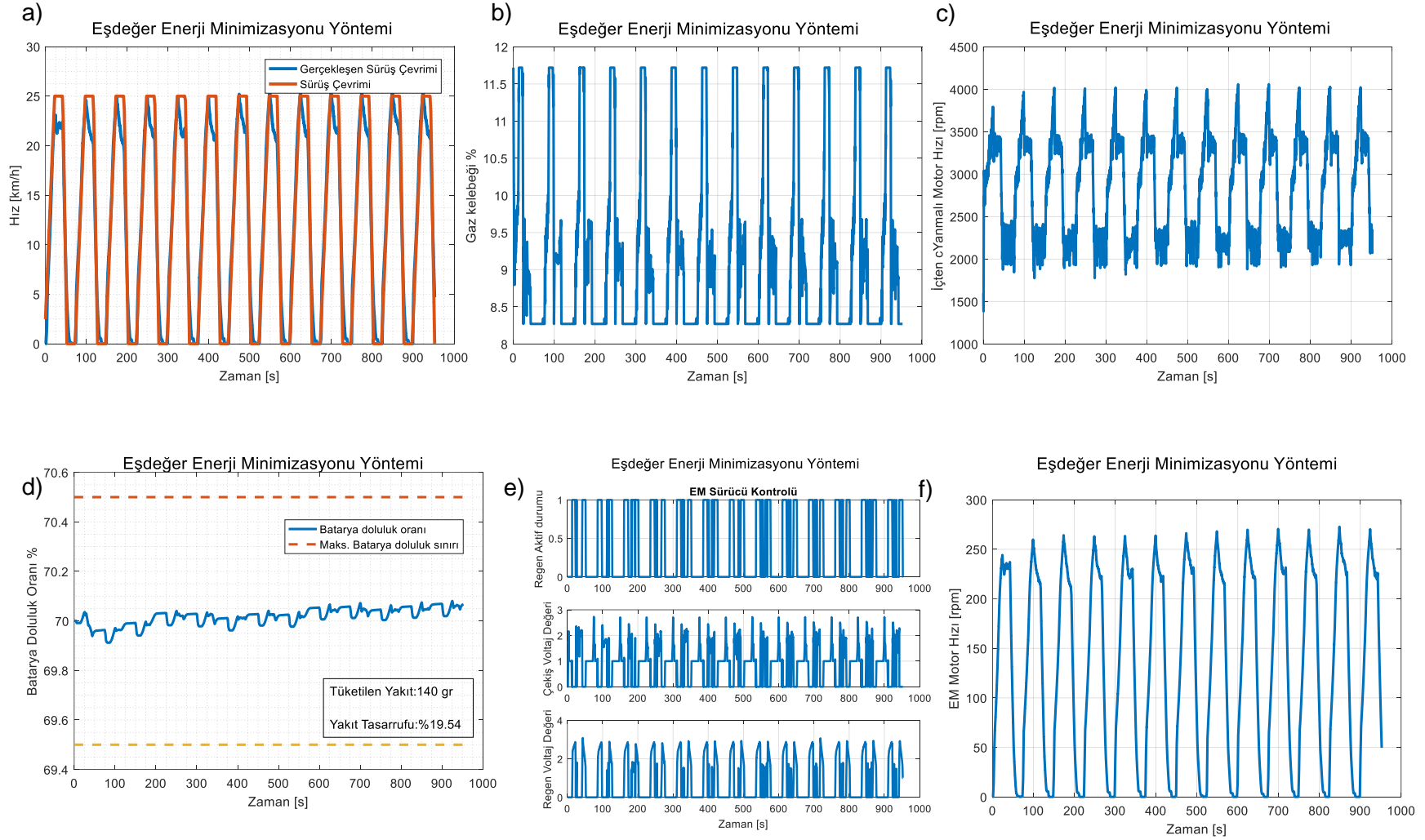
Şekil 163. Girdi ve çıktı sinyallerin gözlemlene görüntüsü -ControlDesk arayüz programı



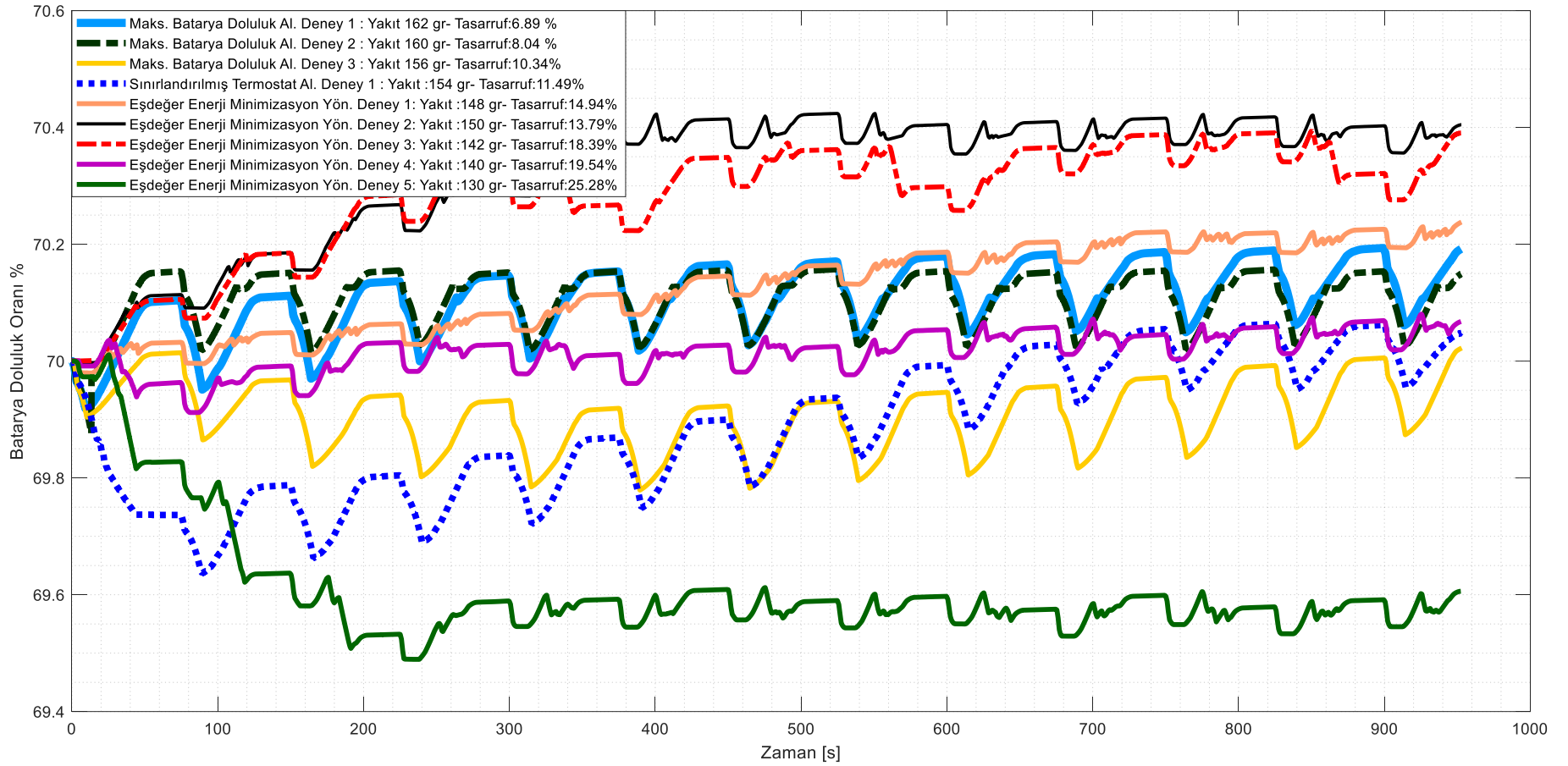
Şekil 164. Sınırlandırılmış Termostat algoritmasına ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor hızı



Şekil 165. Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritmasına ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor hızı



Şekil 166. EEMY'ye ait deney sonuçları a) Sürüş çevrimi b) Gaz kelebeği açısı c) İYM Hızı d) Batarya doluluk oranı e) Elektrik motor sürücü bilgileri f) Elektrik motor Hızı



şekil 167. Algoritmalara göre deneysel batarya doluluk oranı değişim grafikleri ve yakıt tüketim/tasarruf değerleri

8.5 Sonuç

Tablo 37 ile, Şekil 164, Şekil 165 ve Şekil 166'da gösterilen deney sonuçları için batarya doluluk oranı ve eşdeğer yakıt tüketiminin karşılaştırması gösterilmektedir. Tekrarlanan deneylere ait batarya doluluk oranı ve eşdeğer yakıt tüketiminin karşılaştırması Tablo 38 ile gösterilmektedir

Tablo 37. Farklı hibrit algoritmalara ait, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları (Şekil 164, Şekil 165 ve Şekil 166'ye ait sonuçların derlemesi)

Durum	Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	174	-	-
Sınırlandırılmış Termostat	154	70,08	11.49
Maks. Batarya Doluluk Oranı	156	70,1	10.34
EEMY	140	70,05	19,54

Tablo 38. Tekrarlanan deneylere göre farklı hibrit algoritmalara ait, batarya doluluk oranları ve yakıt miktarları (Şekil 167'e ait sonuçların derlemesi)

Durum	Yakıt miktarı (gram)	Bitiş Batarya doluluk oranı (%) **Başlangıç SOC:70%	Yakıt Tasarrufu (%)
İYM	174	-	-
Maks. Batarya Doluluk Oranı	162	70,08	6,89
Maks. Batarya Doluluk Oranı	160	70,19	8,04
EEMY	148	70,23	14,94
EEMY	150	70,40	13,79
EEMY	142	70,27	18,39
EEMY	130	69,60	25,28

Şekil 167, Tablo 37 ve Tablo 38 incelendiğinde, bazı durumlarda EEMY'nin başlangıç değerine göre batarya doluluk oranı artsa bile diğer algoritmalarından daha az yakıt tükettiği görülmektedir. Bu sonucu yaratan temel faktör, EEMY'nin güç gruplarına ait verim haritalarını ve sürüş çevrimi bilgilerini kullanmasıdır. Aynı zamanda üç algoritmanın da seçilen batarya doluluk oranları arasında kaldığı görülmektedir. Kural tabanlı algoritmalar, EEMY'nin sağladığı yakıt tasarrufu oranının çok altında kalmış olsa da konvansiyonel araç mimarisine göre belirli ölçülerde fayda sağlamaktadır.

BÖLÜM 9. TARTIŞMA VE SONUÇ

9.1 Bulguların Tartışılması ve Sonuç

Çalışma kapsamında, hibrit araçların enerji yönetim algoritma performanslarının artırılmasına yönelik kural ve optimizasyon tabanlı enerji yönetim algoritmalarının tasarımı ve testleri gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, sanal ortamda hibrit araç modeli ve hibrit enerji yönetim algoritmaları oluşturulmuştur. Matematiksel model ile elde edilen sonuçların teyit edilmesi amacıyla bir hibrit araç platformu üretilmiş ve tasarlanan hibrit enerji yönetim algoritmaları bu platform üzerinde test edilerek teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın ana çıktıları aşağıda verilmiştir:

- Çalışmanın ilk kısmında, hibrit enerji yönetim sistemi algoritmaların koşturulacağı sürüş çevrimleri oluşturulmuştur.
 - İki aşamalı olarak yürütülen bu kısımda, öncelikle, ticari ve binek araçlar üzerinden veri toplayarak bölgesel sürüş çevrimleri geliştirilmiştir. Sürüş çevrimlerine ait mikro-yolculuklar, aracın seyir özelliklerine göre gruplandırma yöntemiyle elde edilmiştir. Mikro-yolculukların istatistiksel analiziyle Konya şehrine ait bir sürüş çevrimi için özgün bir yöntem geliştirilmiştir.
 - İkinci kısımda, Ankara'daki bir otobüs hattına ait sürüş verilerinin PCA analizi yapılarak sürüş modları elde edilmiştir. Böylelikle çalışmanın devamında tasarlanan adaptif EEMY yöntemi için standartlaştırılmış sürüş çevrimleri elde edilmiştir.
- Elektrik-hibrit taşıtların enerji yönetim sistemlerinin algoritmaları literatürden araştırılmış ve özellikle Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY) ve Dinamik Programı tabanlı yöntemler gibi gelişmiş yöntemlerin, daha basit olan kural tabanlı yöntemlere göre ne miktarda fayda sağlayacağı konusunda analizler yürütülmüştür. Kural tabanlı Sınırlandırılmış Termostat ve Maksimum Batarya Doluluk Oranı algoritmalarının performans parametreleri ve kontrol girdileri sezgisel yöntemlerle oluşturulmuştur. Bunların, benzetim ortamında, optimizasyon tabanlı algoritmalara karşı düşük performans gösterse de geleneksel içten yanmalı motora sahip otobüs modeline göre daha verimli çalıştıkları görülmüştür.
- Optimizasyon tabanlı yöntemlerden EEMY nin gerçek zamanlı sürüş çevrimine göre güncellenmesi tabanlı özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak % 50 nin üzerinde yakıt tüketimi tasarrufu yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Yöntem

kapsamında, araç takip sistemlerinin kullanımı ile enerji yönetim sistemi parametrelerinin trafik yoğunluk bilgisine göre uyarlanması sağlanmıştır. Dolayısıyla, bu yöntemle sanal ortamda, trafiğe yeni katılan bir aracın teorik olarak bulunduğu yol segmenti için hız zaman grafiğinin ne şekilde olacağı yakın geçmişte bu yol segmentinde seyahat etmiş araçların araç takip sistemi verileri kullanılarak öngörülerek enerji sarfiyatı en aza indirilebileceği gösterilmiştir.

- Çalışmanın son aşamasında, dinamometre testlerinden önce, sanal ortamda dinamometre ve prototip araç modeli oluşturulmuştur. Bu modeller üzerinden hibrit algoritma benzetimleri yapılarak üretilen aracın hibrit kontrol algoritma performansları karşılaştırılmıştır. Otobüs benzetiminde olduğu gibi, EEMY algoritmalarının kural tabanlı algoritmalara göre son derece etkin olduğu görülmüştür.
- Çalışmanın son aşamasında, üretilen hibrit aracın dinamometre testleri yapılarak hibrit enerji yönetim algoritmaları sınanmıştır. Deneysel sonuçlara göre, teorik aşamalarda da gösterildiği gibi, EEMY'nin, diğer yöntemlere göre, çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlayabildiği görülmüştür.

Çalışmanın temel sonucu, hem teorik hem de deneysel bulguların gösterdiği üzere, trafik yoğunluk bilgisi önceden bilinen belli rotalarda ilerleyen taşıtların hibrit enerji yöntemlerinin kalibre edilmesiyle yakıt tüketimlerinde önemli iyileştirmeler yapılabileceğidir.

Bu sonuca ulaşırken, literatürde benzeri olmayan adaptif bir EEMY yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca, deneysel olarak da, ayrık akstan paralel hibrit taşıtların test edilmesini mümkün kılan bir dinamometre test düzeneği kurulmuştur.

9.2 Projenin Kapsamadığı Çalışmalar ve Gelecek Çalışmalar için Öneriler

Hem teorik hem de pratik sonuçlar sürüş çevrimi hakkında bilgi sahibi olduğunda üstte bahsi geçen hibrit enerji yönetim algoritmalarının yakıt tüketimini azaltmada büyük potansiyeli olduğunu kanıtlamaktadır. Projeden çıkan sonuçlar üzerinden tespit edilen ve gelecek çalışmalara kaynaklık edebilecek öneriler aşağıda verilmiştir:

- Ülkemizde, şehir için toplu taşımada kullanılan otobüslerde elektrikli itki mimarisine hızlı bir şekilde geçildiği bilinmektedir. Çalışma esnasında farklı rotalarda sürüş modlarının elde edilmesi ile ilgili yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, elektrikli otobüslerin teorik incelemelerinde, bileşen boyutlandırmalarında ve enerji tüketim tahminlerinde de kullanılabilir. Böylelikle, yatırım maliyetleri de daha kesin bir şekilde tespit edilebilecektir.

- Bununla beraber, elde edilen sonuçların elektrikli ve veya hibrit otobüsler için en uygun rotaların seçimine de kaynaklık edebilme potansiyeli bulunmaktadır.
- Ülkemizde, hibrit itki mimarisi ile ilgili çalışmaların, 2000'li yılların başında Otomotiv Sanayimizin önde gelen şirketleri tarafından demo amaçlı birer prototip aracın üretilmesi ile beraber neticelendiği görülmektedir. Oysa araştırmalar, yakın gelecekte, hibrit itki sistemine sahip binek, ticari ve hatta askeri araçların yaygınlaşacağını göstermektedir. Bu projeden, elde edilen bilgi birikimi bu tip araçların enerji yönetim sistemi algoritmalarında kullanılabilir.

Proje esnasında, çalışma fırsatını bulamadığımız ancak çalışmalar esnasında önemini kavradığımız diğer konular ise aşağıda listelenmiştir:

- Seri- paralel ve karmaşık hibrit itki sistemlerine sahip taşıtlar için deneysel araştırma çalışmalar ülkemizde yaygınlaşmalıdır. Bu tip itki sistemlerinin, seri hibrit mimarinin sağlayabileceği verimlilik düzeyini daha hafif bileşenlerle sağlayabilme potansiyeli bulunmaktadır. Başka bir deyişle, bu projede geliştirilen algoritmaların, daha karmaşık hibrit güç aktarım sistemlerine sahip taşıtlarda uygulanması önerilmektedir.
- Hibrit kontrol algoritmalarının sürüş konforu üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, torsiyonel güç aksamı modellemesi yapılarak, güç paylaşımındaki değişimlerinin sürüş konforu üzerindeki etkileri, teorik ve sonrasında deneysel olarak incelenmelidir.
- Yakıt tüketiminin azaltılması ve IYM verimliliğinin artırılması için silindir deaktivasyon teknolojisinin önerilen hibrit kontrol algoritmalarıyla beraber ele alınmasında yarar görülmektedir.
- IYM motor freni ve retarder fren etkisi gibi etkilerin önerilen hibrit kontrol algoritmalarıyla beraber ele alınmasında yarar görülmektedir.
- Bilimsel literatürde, birçok geliştirilen algoritmanın performansının DP algoritmasıyla karşılaştırıldığı ve DP algoritmasına yakın sonuçların elde edilmesinin bir başarı kriteri olarak görüldüğü gözlemlenmiştir. Bu noktadaki temel eksikliğin DP algoritmasının geçici rejim etkilerini kapsamadığıdır. Ayrıca, sürüş için konforsuz neticelere neden olabilecek kontrol girdiler üretebileceği düşünülmektedir.
- Gene, üst madde ile bağlantılı olarak, çalışmamızda modellemede çok büyük belirsizliklere neden olan IYM ve EM geçici rejim etkileri, varyatör redüksiyon oranı değişimleri, santrifüj kavrama dinamikleri, belirsiz tekerlek yuvarlanma direnci katsayısı, EM sürücüsünün kendi

iç algoritmaları, batarya BYS sisteminin kendi iç algoritmaları gibi birçok etkenle karşılaşmıştır. Bu tür etkilerin matematiksel olarak modellenmesi oldukça zor olduğundan, DP algoritmasının gerçekte hibrit araç algoritmaları için kesin çözüm verdiğini söylemek pek de mümkün gözükmemektedir.

- Özetle, hibrit itki sistemleri araştırmalarındaki temel yaklaşım deneysel geliştirmeye dayalı olmalıdır. Üniversitelerimizde ve Otomotiv Sanayimizde hibrit itki sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların yapılmasını mümkün kılacak deneysel altyapı yatırımları yoğun bir şekilde desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Bayindir, K. Ç., Gözüküçük, M. A., & Teke, A. (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management*, 52, 1305-1313.
- Boulter, P., & Cox, J. (1999). *A review of European emission measurements and models for diesel fueled buses*. Crowthorne: TRL Report .
- Boyalı, A., & Güvenç, L. (2010). Hibrid elektrikli araçların modellenmesi ve kural tabanlı kontrolü. *İstanbul Teknik Dergisi/D-Mühendislik*, 9, 83-94.
- Boyalı, Y. A. (2008). *Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi Ve Kontrolü*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Conti, M., Kotter, R., & Putrus, G. (2015). Energy Efficiency in Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Its Impact on Total Cost of Ownership. *Electricvehiclebusinessmodels:globalperspectives*, 147-165.
- Crolla, D. (2009). Advanced hybrid bus. C. David içinde, *Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body* (s. 199). United States of America: Butterworth-Heinemann.
- Dinç, C. (2013). *Methodology Development For The Construction Of A Driving Cycle In Order To Determine The Exhaust Emissions Of Road Vehicles*. İstanbul: İstanbul Technical University Graduate School Of Science Engineering And Technology.
- Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2010). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design*. Boca Raton: CRC Press.
- Elbert, P., Ebbesen, S., & Guzzella, L. (2013). Implementation of Dynamic Programming for n-Dimensional Optimal Control Problems With Final State Constraints. *IEEE Transactions On Control Systems Technology*, 21(3), 924-931.
- Engineers, S. o. (2017). Stepwise Coastdown Methodology for Measuring Tire Rolling Resistance. *SAE*.
- Ergeneman, M., Sorusbay, C., & Goktan, A. (1997). Development of a driving cycle for the prediction of pollutant emissions and fuel consumption. *International Journal of Vehicle Design*, 391-399.

- FCH-JU. (2012). Alternative Powertrains for Europe. *The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCHJU)*.
- Feng, W., & Figliozzi, M. (2013). An economic and technological analysis of the key factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles: A case study from the USA market. *Transportation Research Part C*, 26, 135-145.
- Frost, & Sullivan. (2013). Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01). *Frost & Sullivan Publication*.
- Göhlich, D., Fay, T.-A., Jefferies, D., & Lauth, E. (2018). Design of urban electric bus systems. *Design science*, 1-28.
- Grubb, M., Vrolijk, C., & Brack, D. (1997). *The Kyoto protocol : a guide and assessment*. London: Oxford.
- Hodkinson, R., & Fenton, J. (2001). *Lightweight Electric/Hybrid Vehicle Design*. Butterworth-Heinemann.
- Hung, W., Tong, H., Lee, C., Ha, K., & Pao, L. (2007). Development of a Practical Driving Cycle Construction Methodology: A Case Study in Hong Kong. *Transportation Research, Part D* 115-128.
- Hurst, D. (2011). Thinking outside the car: using electricity for two wheel vehicles, trucks, buses, locomotive, and off-road vehicles. *Pike Research*.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning*. New York: Springer.
- Jobson, E. (2010). Hybrid Technology for Buses. *Volvo Bus Corporation Report*.
- Kakuhama, Y., Kato, J., Fukuizumi, Y., Watabe, M., Fujinaga, T., & Tada, T. (2011). Next-generation public transportation: electric bus infrastructure project. *Mitsubishi Heavy Ind Tech Rev*, s. 48.
- Kamble, S., Mathew, T., & Sharma, G. (2009). Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. . *Transportation Research, Part D: Transport and Environment (14)*, 132-140.

- Karaoğlan, M., & Kuralay, N. S. (2014). Őehirici toplu taşımacılıkta hibrit tahrik uygulamaları. *Mühendis ve Makina*, 55(650), s. 9-16.
- Kazemi, H., Fallah, Y. P., Nix, A., & Wayne, a. S. (2017). Predictive AECMS by Utilization of Intelligent Transportation Systems for Hybrid Electric Vehicle Powertrain Control. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 75-84.
- Kuhler, M., & Karstens, D. (1978). Improved driving cycle for testing automotive exhaust emissions. *SAE Technical Paper*.
- Kural, E., & Güvenç, B. A. (2015). Predictive-Equivalent Consumption Minimization Strategy for Energy Management of A Parallel Hybrid Vehicle for Optimal Recuperation. *Politeknik Dergisi*, 113-124.
- Kühne, R. (2010). Electric buses e An energy efficient urban transportation means. *Energy*, 35, 4510-4513.
- Lajunen, A. (2014). Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C*, 38, 1-15.
- Liu, T., Hu, Zou, Y., & Cao, D. (2018). Fuel Saving Control for Hybrid Electric Vehicle Using Driving Cycles Prediction and Reinforcement Learning. *AVEC*. Beijing,China.
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric. *Journal of Power Sources*, 226, s. 272-288.
- Ly, T., Goehlich, D., & Heide, L. (2016). Assessment of the interaction of charging system and battery technology for the use in urban battery electric bus systems. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* . Hangzhou, China: IEEE.
- Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673-684.
- McKenzie, E. C., & Durango-Cohen, P. L. (2012). Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transportation Research Part D*, 17, 39-47.
- Mi, C., Masrur, M. A., & Gao, D. W. (2011). *Hybrid electric vehicles principles and applications with practical perspectives*. USA: Wiley.

- Miles, J., & Potter, S. (2014). Developing a viable electric bus service: The Milton Keynes demonstration project. *Research in Transportation Economics*, 48, 357-363.
- Musardo, C., Rizzoni, G., Guezennec, Y., & Staccia, B. (2005). A-ECMS: An Adaptive Algorithm for Hybrid Electric Vehicle Energy Management. *European Journal of Control*, 509-524.
- Neubauer, J., & Wood, E. (2014). The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. *Journal of Power Sources*, 257, 12-20.
- Nurhadi, L., Borén, S., & Ny, H. (2014). A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities. *Transportation Research Procedia*, 3, 818-827.
- Offer, G., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. (2010). Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, 38, 24-29.
- Ou, X., Zhang, X., & Chang, S. (2010). Alternative fuel buses currently in use in China: Life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy*, 38, 406-418.
- Poullikkas, A. (2015). Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1277-1287.
- Ribau, J. P., Silva, C. M., & Sousa, J. M. (2014). Efficiency, cost and life cycle CO₂ optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses. *Applied Energy*, 129, 320-335.
- Sciarretta, A., Back, M., & Guzzella, L. (2004). Optimal Control of Parallel Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Trans. On Control Systems Technology*, 352-363.
- Sulaiman, N., Hannan, M., Mohamed, A., Majlan, E., & WanDaud, W. (2015). A review on energy management system for fuel cell hybrid electric vehicle: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 802-814.
- Sundström, O., Ambühl, D., & Guzzella, L. (2010). On Implementation of Dynamic Programming for Optimal Control Problems with Final State Constraints. *Oil & Gas Science and Technology*, 65(1), 91-102.

- Torchio, M. F., & Santarelli, M. G. (2010). Energy, environmental and economic comparison of different powertrain/fuel options using well-to-wheels assessment, energy and external costs e European market analysis. *Energy*, 35, 4156-4171.
- Tzeng, G.-H., Lin, C.-W., & Opricovic, S. (2005). Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, 33, 1373-1383.
- Tzirakis, E., Pitsas, K., Zannikos, F., Iroon, & Stournas, S. (2006). Vehicle Emissions And Driving Cycles: Comparison Of Theathens Driving Cycle (Adc) With Ece-15 And European Driving Cycle (Edc). *Global NEST Journal Vol 8*, 282-290.
- Volvo 7700*. (2016, 07 26). Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Volvo_7700 adresinden alındı
- Xiong, W.-W., & Yin, C.-L. (2009). Design of Series-Parallel Hybrid Electric Propulsion Systems and Application in City Transit Bus. *WSEAS Transactions On Systems*, 8(5), 578-590.
- Yang, S., Wang, W., Zhang, F., Hu, Y., & Xi, J. (2018). Driving-Style-Oriented Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategies for HEVs. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 9249-9261.
- Zeng, Y., Cai, Y., Kou, G., Gao, W., & Qin, D. (2018). Energy Management for Plug-In Hybrid Electric Vehicle Based on Adaptive Simplified-ECMS. *Sustainability*, 1-24.
- Zhang, C., Vahidi, A., Pisu, P., Li, X., & Tennant, K. (2010). Role of Terrain Preview in Energy Management of Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 1139-1147.
- Živanović, Z., & Nikolić, Z. (2012). Ž. Zlatimir, & N. Zoran içinde, *New Generation of Electric Vehicles* (s. 165-203).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. SELAHATTİN ÇAĞLAR BAŞLAMIŞLI
Proje No:	115M593
Proje Başlığı:	Araç Takip Sistemi Verilerini Kullanarak Elektrikli Ve Hibrit Taşıtlar İçin Enerji Yönetim Sistemi Algoritmalarının Optimizasyonu Ve Ticari/Kamusal Kullanıma Yönelik Motorlu Taşıtlar İçin Optimal Hibritleştirme Alternatiflerinin Değerlendirilmesi
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	36
Araştırmacılar:	KEREM KÖPRÜBAŞI, MURAT CANER TESTİK
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	HACETTEPE Ü. MÜHENDİSLİK F. MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/09/2015 - 01/03/2019
Onaylanan Bütçe:	597222.0
Harcanan Bütçe:	518876.55

TÜBİTAK

<p>Öz:</p>	<p>Bir yandan toplu taşımada kullanılan şehir içi otobüsler ve servisler, öte yandan her gün yüz kilometrenin üzerinde yol kateden çöp kamyonları ve kurye araçları çok miktarda yakıt tüketmektedir. Bu proje kapsamında, Ankara içinde yolcu taşımacılığında görev yapan belediye otobüsleri üzerinden yoğun veri toplama ve simülasyon faaliyetlerini içeren analizlerin sonuçlarına dayanarak, belediyelerin ve Ulaştırma Bakanlığı'nın gelecekte içten yanmalı motora sahip taşıtlar yerine elektrikli ve/veya hibrit taşıtların kullanılması halinde, sağlanabilecek yakıt tasarrufunun analizine yönelik bir araştırma yapılmıştır. Başka bir deyişle, mevcut taşıtların ya elektrikli araca ya hibrit araca dönüşümü yapılarak ve bunların enerji yönetim algoritmalarını (proje esnasında elde edilme yöntemi çözümlenen sürüş çevrimlerine göre) optimize etmek suretiyle, teorik olarak, ne kadar yakıt tasarrufu yapılabileceği hesaplanmıştır.</p> <p>Proje esnasında sürüş çevrimleri bir araç takip sistemi üreticisi ile ortak çalışma yürütülerek elde edilmiştir. Ayrıca bir otobüs üreticisiyle de proje ekibi veri toplayarak araç takip üreticisi tarafından sağlanan verilerin validasyonu yapmıştır. Proje esnasında, özgün bir yöntemle, araç takip sistemi verileri kullanılarak ülkemizin farklı şehirleri için geçerli sürüş çevrimlerinin (driving cycle) belirlenmesinde kullanılabilecek yöntemler geliştirilmiş ve sonrasında bu yöntemler hibritleştirme analizinde kullanılmıştır.</p> <p>Üstteki amaçlar doğrultusunda, bahsi geçen taşıtların güç dizini ve taşıt dinamiği modelleri sanal ortamda kurulmuş. Elektrik-hibrit taşıtların enerji yönetim sistemlerinin algoritmaları literatürden araştırılmış ve özellikle Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi (EEMY) ve Dinamik Programı tabanlı yöntemler gibi gelişmiş yöntemlerin, daha basit olan kural tabanlı yöntemlere göre ne miktarda fayda sağlayacağı konusunda analizler yürütülmüştür. Özellikle EEMY nin gerçek zamanlı sürüş çevrimine göre güncellenmesi tabanlı özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak % 50 ye varan yakıt tüketimi tasarrufu yapmanın mümkün olduğu tespit edilmiştir. Yöntem kapsamında, araç takip sistemlerinin kullanımı ile enerji yönetim sistemi parametrelerinin trafik yoğunluk bilgisine göre uyarlanması sağlanmıştır. Başka bir deyişle, sanal ortamda, trafiğe yeni katılan bir aracın teorik olarak bulunduğu yol segmenti için hız zaman grafiğinin ne şekilde olacağı yakın geçmişte bu yol segmentinde seyahat etmiş araçların araç takip sistemi verileri kullanılarak öngörülerek enerji sarfiyatı en aza indirilmiştir. Dolayısıyla, sürüş çevrimleri kullanılarak elde edilmiş algoritmaların kalibrasyonunu bu yol segmenti için yapılmıştır.</p> <p>Projenin son aşamasında üç tekerlekli, ön tekerlekleri elektrikli jant motorlu, arka tekerleği içten yanmalı motor tahrikli paralel hibrit mimariye sahip bir taşıt üretilmiştir. Bu taşıtın taşıt kontrol bilgisayarına projenin teorik aşamaları esnasında tasarlanan hibrit enerji yönetim algoritmaları kodlanmıştır. Hacettepe kampüsünde hız-zaman verileri toplanmıştır. Elde edilen verilerden basitleştirilmiş bir sürüş çevrimi türetilmiştir. Kontrollü deneylerin yapılabilmesi adına Hacettepe Ü. Otomotiv Laboratuvarında bulunan dinamometre deney düzeneği üzerinde özgün bir test prosedürü geliştirilmiştir. Test esnasında içten yanmalı motorun ve elektrikli jant motorlarının (sökülüp paralel bir araca monte edilerek) dinamometre tamburlarının eş zamanlı olarak tahrik etmesi mümkün kılınmıştır. Deneysel sonuçlar, projenin teorik aşamalarında da gösterildiği gibi, hibrit taşıtların kullanılması halinde, EEMY nin, diğer yöntemlere göre, çok daha fazla yakıt tasarrufu sağlayabildiğini göstermektedir. Hem teorik hem de pratik sonuçlar sürüş çevrimi hakkında bilgi sahibi olduğunda (ki bu şehir için yolcu taşımacılığında kullanılan taşıtlar için son derece geçerlidir), üstte bahsi geçen hibrit enerji yönetim algoritmasının yakıt tüketimini azaltmada büyük potansiyeli olduğunu kanıtlamaktadır.</p>
<p>Anahtar Kelimeler:</p>	<p>Elektrikli Taşıt, Hibrit Taşıt, Enerji Yönetim Sistemi, Eşdeğer Enerji Minimizasyon Yöntemi</p>
<p>Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:</p>	<p>Hayır</p>

Proje Yapılan Yayınlar:	<p>1- Parametric investigation of a hybrid vehicle?s achievable fuel economy with optimization based energy management strategy (Makale - Diğer Hakemli Makale),</p> <p>2- THE EFFECT OF DIFFERENT GEAR RATIO SELECTION ALGORITHMS ON THE EFFICIENCY OF CONVENTIONAL AND PARALLEL HYBRID DRIVETRAINS (Makale - Diğer Hakemli Makale),</p> <p>3- TÜRKİYE SÜRÜŞ ÇEVREMLERİNİN OLUŞTURULMASI: KONYA ŞEHİRİ ÇALIŞMASI (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>4- HİBRİT-ELEKTRİKLİ ŞEHİR İÇİ OTOBÜSLERDE YAKIT EKONOMİSİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ ALGORİTMALARININ TASARIMI (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>5- PARALEL HİBRİT BİR ARAÇ İÇİN EŞDEĞER ENERJİ MİNİMİZASYONU YÖNTEMİ İLE YAKIT TÜKETİMİ OPTİMİZASYONU (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>6- Elektrikli/Hibrit Otobüslerin Enerji Yöntemi Algoritmalarının Optimal Kontrol Yöntemleriyle Tasarlanması: Ankara Şehri için Bir Örnek Durum İncelemesi ve Maliyet Analizi (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>7- Paralel Hibrit Araçta Optimal Vites Seçimi ve Eşdeğer Enerji Minimasyonu Stratejilerinin Birleştirilmesi (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p> <p>8- ŞEHİRİÇİ HİBRİT OTOBÜSLERİN YAKIT TÜKETİMLERİNİN ADAPTİF BİR ALGORİTMAYLA AZALTILMASI: ANKARA ŞEHİRİ İÇİN BİR ÖRNEK DURUM İNCELEMESİ (Bildiri - Ulusal Bildiri - Sözlü Sunum),</p>
-------------------------	--

TÜBİTAK