

KİNETİK ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ TASARIMI

AYKUT DANA

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAKİNE TEORİSİ VE KONTROL PROGRAMI

DANIŞMAN: DOC. DR. CİHAN DEMİR

EKİM 2019

İÇERİK

- AMAÇ
- PUSAT ARACI GENEL ÖZELLİKLERİ
- KİNETİK ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ
- ANALİZ MODELİ
- ANALİZ SONUÇLARI
- SORU-CEVAP

PUSAT ASKERİ ARACI

GENEL ÖZELLİKLERİ



TÜMOSAN
MOTOR ve TRAKTÖR

MOTOR 250 BG



TÜMOSAN X 5,3lt

- Güç: 250 BG
- Hacim / Silindir: 5,2lt / 4 Silindir
- Azami Tork: 900Nm @1200-1600 d/d
- Azami Devir: 2500d/d
- Emisyon: Euro II
- F-34 ve F54 Yakıtlanı ile uyumlu
- CommonRail Enjeksiyon Sistemi
- Çift Turbo

SİLAH SEÇENEKLERİ

- SARP Uzaktan Kumanda Stabilize Silah Sistemi
- 12,7mm Makinalı Tüfek
- 7,62mm Makinalı Tüfek
- 40mm Otomatik Bomba Atar
- İnsani Kula Sistemlerine uygun tavan yapıları
- Araç içerisinde Havan Topu kullanımı için uygun alt yapı.



Ağırlık:
Azami Mınarebe Ağırlığı:
12 ton
Taşıma Kapasitesi:
2,5 ton

TRANSMİSYON 8 + 1 OTOMATİK



TÜMOSAN DURA 1300 OTM (8+1)

- Sarkmaçlı Otomatik Elektro-Hidrolik Vites Geçiş Sistemi
- Vites Sayısı: 8 İleri + 1 geri
- Arka ve Yan PTO Çıkış Özelliği
- 1/8 Vites Oranları: 8,854 / 0,71
- Akıllı Yağlama Özelliği

SÜSPANSİYON

- 4 Tekerlekte Bağımsız Süspansiyon
- Toplamda 300mm Tekerlek Stroğu
- Yüksek Arazi Profil Yel Dayanımı
- Araç özelliklerine göre optimize edilmiş süspansiyon geometrisi, yay ve damper karakteristiği



ELEKTRONİK

TÜMOSAN AKS

- GPS ile Konum Bulma Özelliği
- Eğim Sensörü
- Gyroscope
- Araç Gövde Kontrolü

TÜMOSAN TEKÜ

- 8+1 ve 16+2 Vites Kontrolü
- Act Durum Vitesi
- Limp-Home Overide Özelliği
- PTO Kontrol Özelliği

KULLANICI

- ARAYÜZ PANELİ
- 7" TFT Ekran
- 800x480 Pixel Çözünürlük
- 16M Renk Derinliği

TÜMOSAN MEKÜ

- 1-6 Silindir Diesel Motor Kontrolü
- Pilot, Ön, Ana ve Son Püskürtme Özelliği
- Değişken Avans Kontrolü
- Limp-Home, Overide Özelliği
- Sessiz-Dumanlız Çalışma

ZIRH VE MAYIN KORUMA

- Mayın Karşı Korunaklı Koltuklar
- Modüler Zırh ve Mayın Kiti
- Farklı koruma seviyeleri için araç üstü zırh koruma kiti

TEKERLEKLER

- 1 Adet Yedek Lastik / Taşıma Vinç
- 335/80 R20 Patlar Gider Arazi Lastikleri

Transfer Kutusu: TÜMOSAN TKU-102

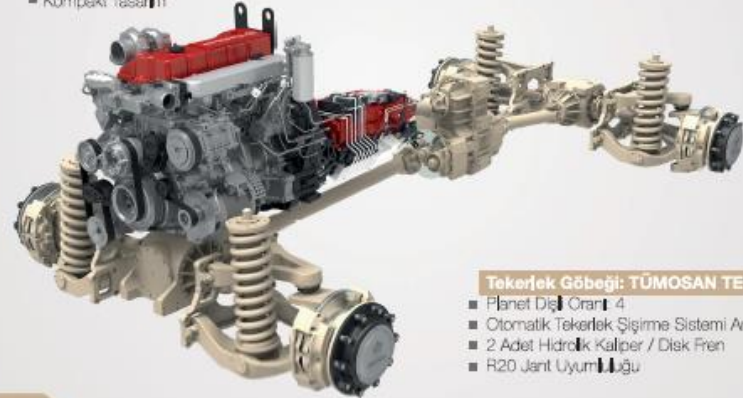
- Yüksek / Düşük Hız Oranı: 1 / 1,75
- Sürekli 4x4 / Merkezi Diferansiyel Özelliği
- Diferansiyel Kilitli Özelliği
- Ön Aks %35 - Arka Aks %65 Tork Aktarımı
- 2 Adet Hidrolik Park Fren Kaliperi / Disk Fren
- PTO Çıkış Özelliği
- Entegre Yağ Pompası
- Boş Vites Özelliği

Diferansiyel: TÜMOSAN DIF-102

- Diferansiyel Oranı: 1,3
- Diferansiyel Kilitli Özelliği
- Kompakt Tasarım

Tekerlek Göbeği: TÜMOSAN TEG-102

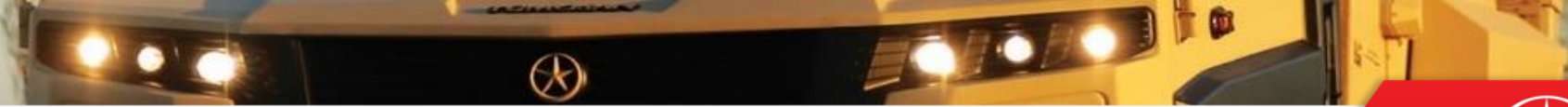
- Planet Diği Oranı: 4
- Otomatik Tekerlek Şişirme Sistemi Arayüzü
- 2 Adet Hidrolik Kaliper / Disk Fren
- R20 Jant Uyumluluğu



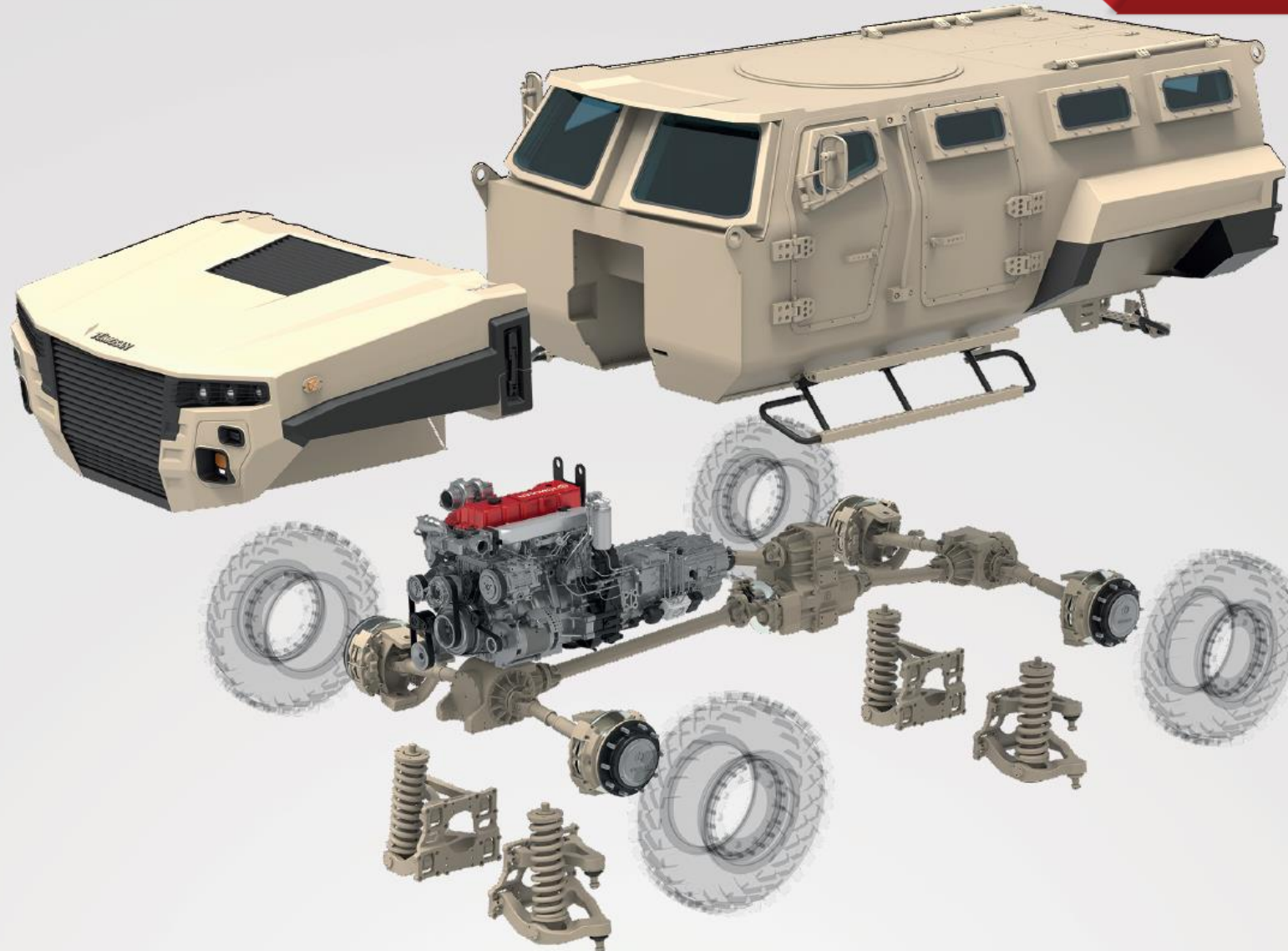
TÜMOSAN PUSAT

www.tumosan.com

TÜMOSAN PUSAT %100 Türk Tasarım ve Mühendisliği



TÜMOSAN
MOTOR ve TRAKTÖR

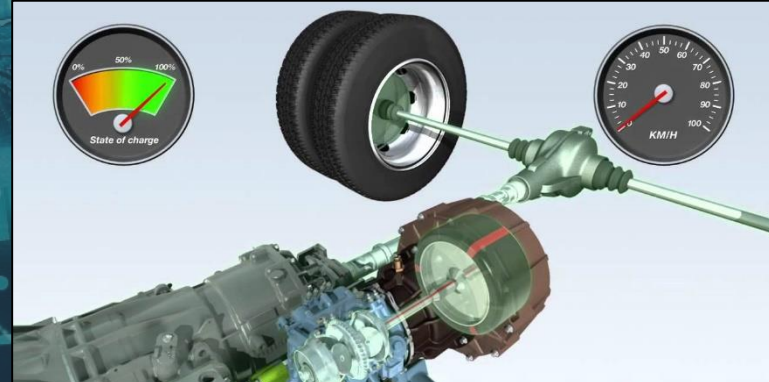


KINETİK ENERJİ GERİ KAZANIM SİSTEMİ

Sistem Tasarımı

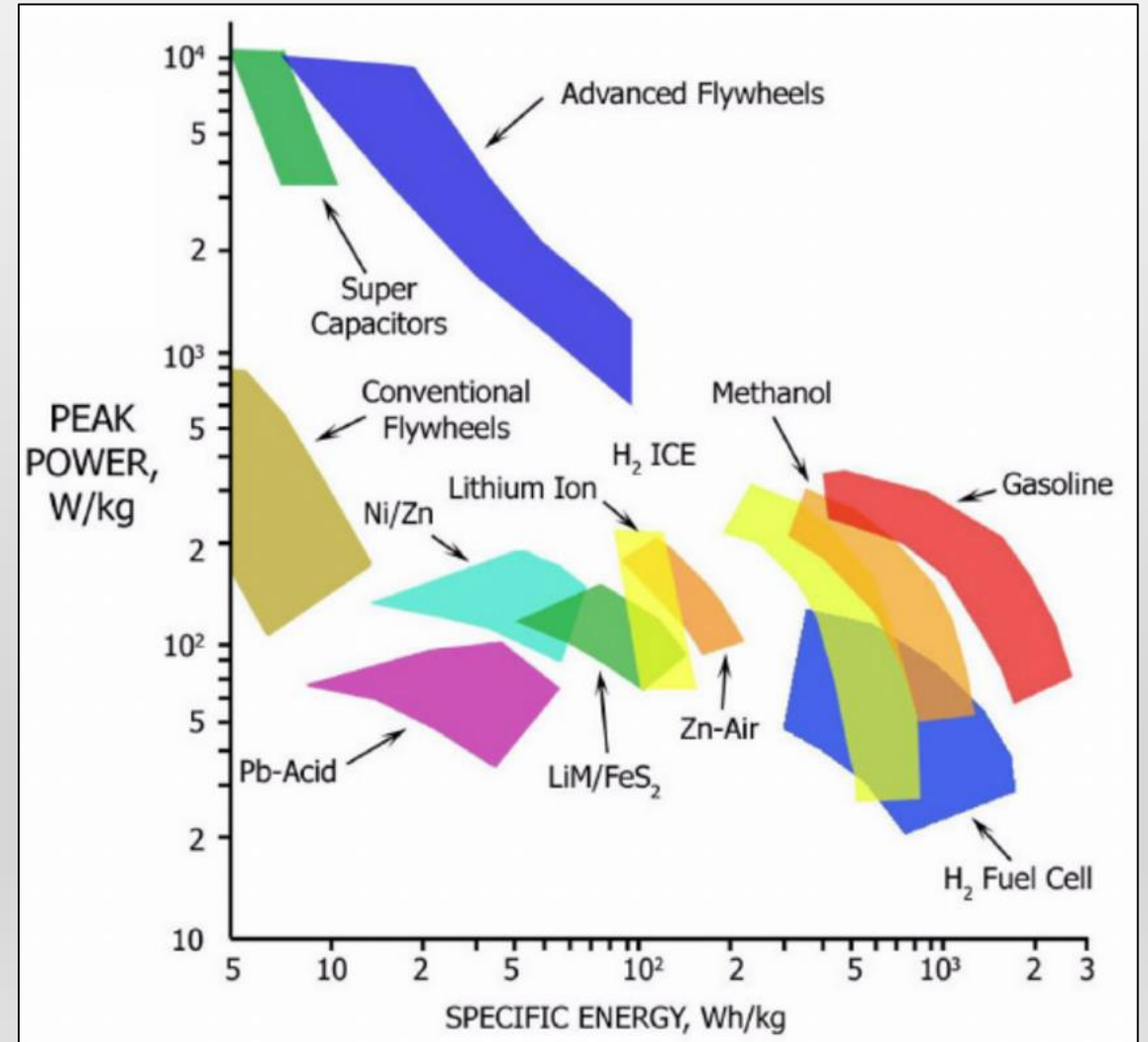
AMAÇ

PUSAT askeri aracı ve benzeri araçlarda kullanılmak üzere kinetik enerji geri kazanım sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Frenleme esnasında ortaya çıkan enerji, driveline üzerindeki PTO noktasına montaj edilecek kavrama ve vites mekanizması üzerinden volana aktarılması ve dönme kinetik enerjisine dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Aracın hızlanması esnasında volanda depolanan kinetik enerji araca geri aktararak araç performansının artırılması amaçlanmıştır. Volan boyutlandırması, topoloji çalışması ve aktarma organı seçimi yapılmıştır. Matlab/Simulink programında blok diagramları yardımıyla sistem modeli oluşturulmuş ve MSC Adams/Car programında oluşturulan dinamik model ile co-simülasyon yapılarak çeşitli kullanım profillerinde sistemin performansı analiz edilmiştir.



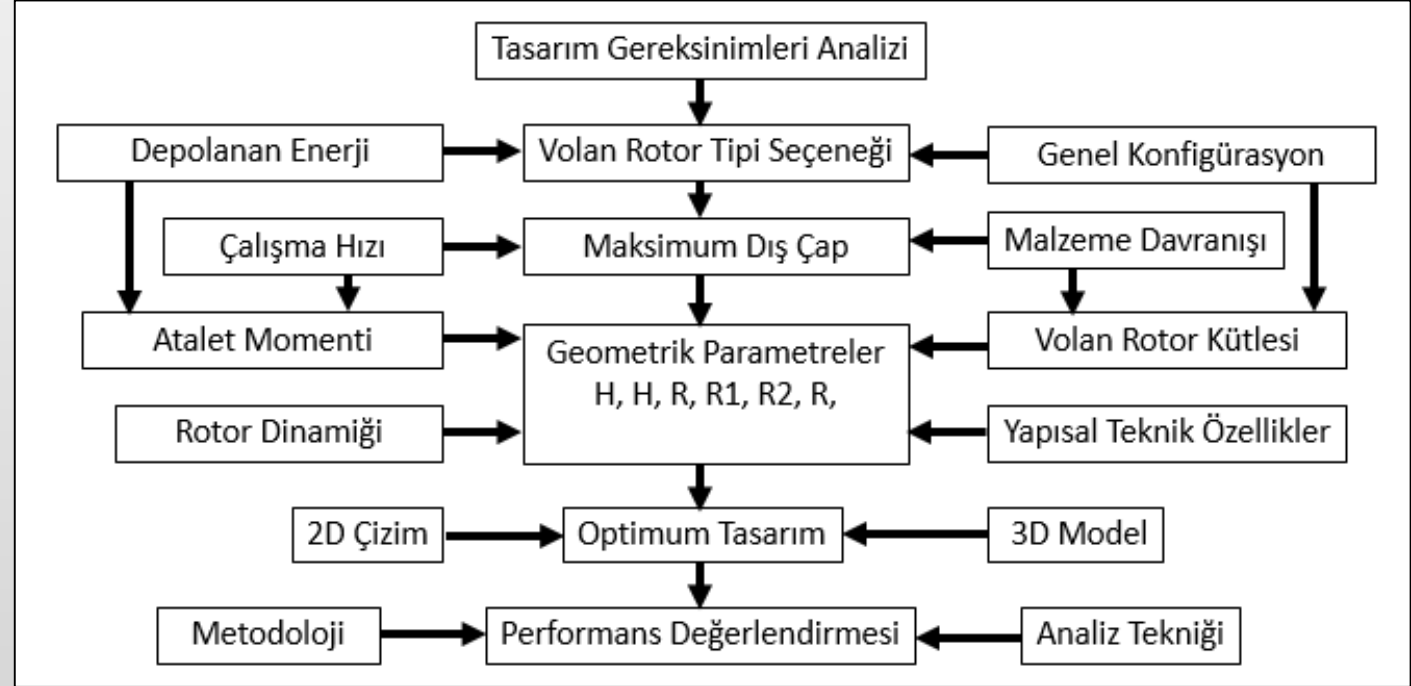
ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ KARŞILAŞTIRMASI

Volanlı enerji depolama sistemleri, enerjinin dönen bir volanda mekanik olarak depolanması mantığıyla çalışır. Bu sistemlerin daha yüksek güç yoğunlukları, yüksek verimlilikleri, daha uzun kullanım ömrü ve pillerden daha geniş bir çalışma sıcaklığı aralığı vardır. Volan malzemesi olarak kompozit malzeme kullanılarak oluşturulan sistemler çelikten imal edilen volanlara göre çok yüksek mukavemete sahiptir. Böylelikle da volanların daha yüksek spesifik enerjiye sahip olması sağlanabilmektedir.



VOLAN BOYUTLANDIRMASI

Volanın boyutlandırılması birçok parametreye bağlıdır. Optimum tasarım için, ihtiyacın belirlenmesi ve sistemin performansının değerlendirilmesi gerekmektedir. Volan tasarımında yandaki şekilde gösterildiği üzere bir çok sayıda koşul ve faktör dikkate alınmalıdır.



Volan tasarım prosesi

VOLAN BOYUTLANDIRMASI

Volanlar enerjiyi kinetik enerji formunda depolar. Volan boyutlandırması depolanmak istenilen enerji büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Dönen kütle içerisinde depolanan enerji aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi atalet momenti ve açısal hızın bir fonksiyonudur.

$$E_k = \frac{1}{2}IW^2 \quad (1)$$

Solid disk şeklindeki bir volan için atalet momenti aşağıdaki ifade ile bulunur.

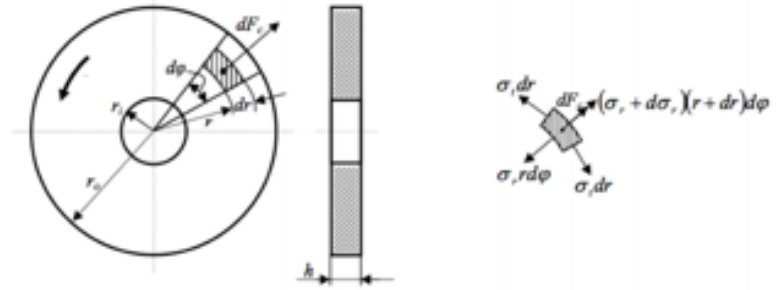
$$I = \frac{1}{2}mR^2 \quad (2)$$

Enerji denkleminde eylemsizlik momentini yerine yazıldığında aşağıdaki denklem elde edilir.

$$E_k = \frac{1}{4}mR^2W^2 \quad (3)$$

VOLAN BOYUTLANDIRMASI

Volanlarda depolanabilecek maksimum enerji, volanın maksimum dönüş hızı arttıkça artmakta ancak aynı zamanda volan üzerindeki teğetsel ve radyal gerilmeler de artmaktadır. Volan malzemesinin akma gerilme değeri aşılmaması kalıcı hasara sebep olur. Gerilmelerin kritik değere ulaştığı maksimum hız belirlenebilir ve emniyet faktörüne göre güvenli çalışma hızı hesaplanmalıdır. Geometrik olarak volan sisteminin yerleştirileceği yer incelenerek maksimum dış çap belirlenmiştir. Volan üzerinde oluşan gerilmeler volan iç çapı değişimine göre hesaplanmış ve belirlenen maksimum gerilmeye karşılık gelen volan iç çapı belirlenmiştir.



Şekil 1 Sabit kalınlıktaki dönen cisimde oluşan kuvvetler

Bu gerilmeler aşağıdaki denklem yardımıyla bulunabilir.

$$\sigma_t = \rho W^2 \left(\frac{3+\nu}{8} \right) \left(r_i^2 + r_o^2 + \frac{r_i^2 r_o^2}{r^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right) \quad (4)$$

$$\sigma_r = \rho W^2 \left(\frac{3+\nu}{8} \right) \left(r_i^2 + r_o^2 - \frac{r_i^2 r_o^2}{r^2} - r^2 \right) \quad (5)$$

r_o : Dairenin iç çapı

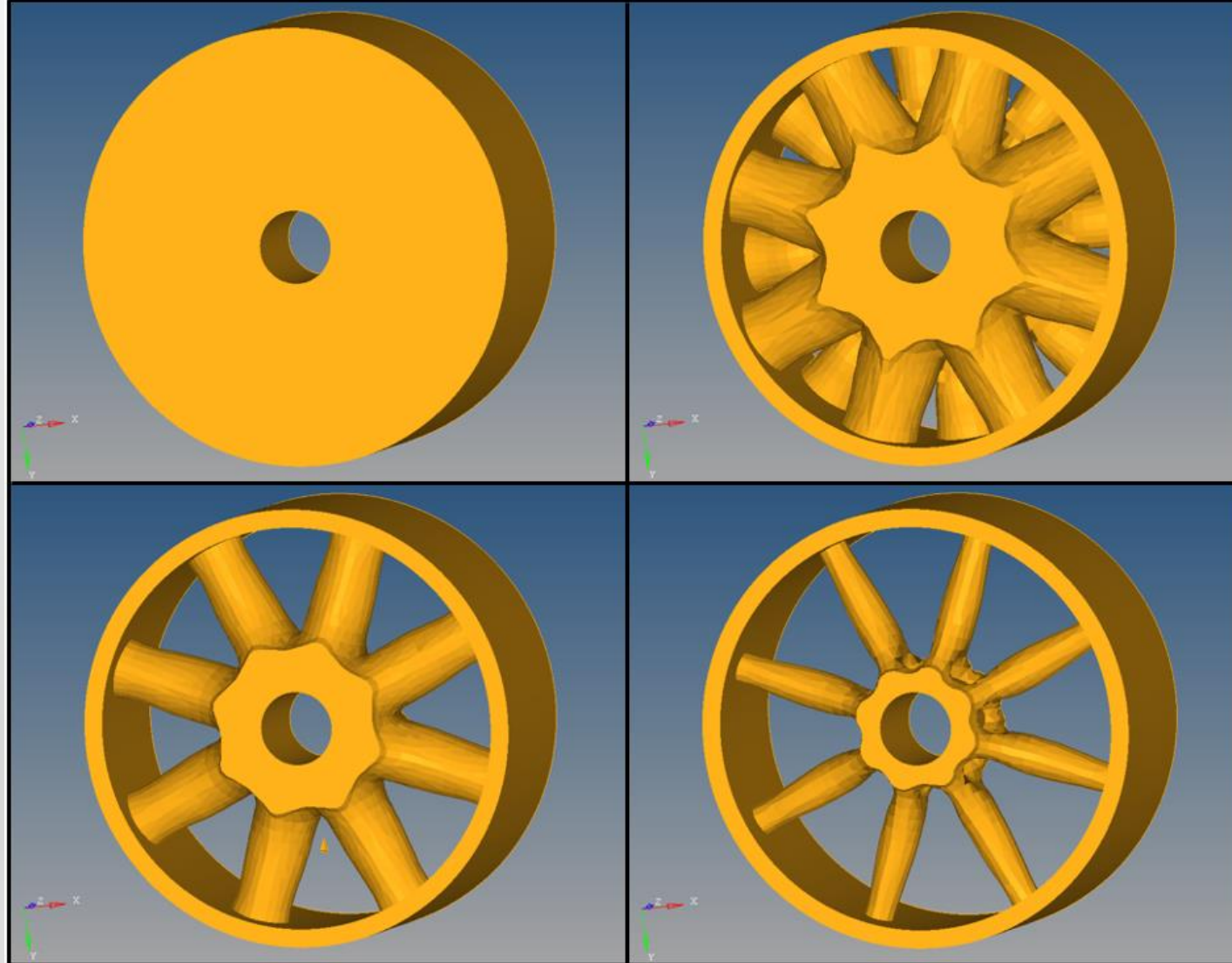
r_i : Dairenin dış çapı

σ_t : Eksenden r uzaklıktaki herhangi bir noktadaki teğetsel gerilme.

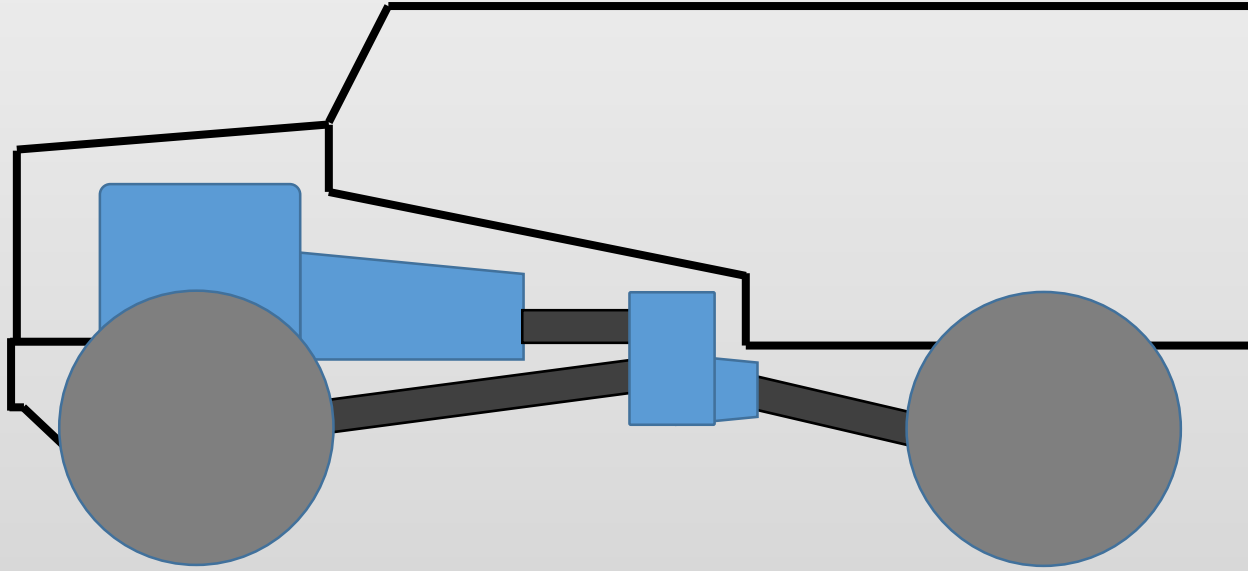
σ_r : Dönme ekseninden r uzaklıktaki herhangi bir noktadaki radyal gerilme.

ν : Malzemenin poisson oranı.

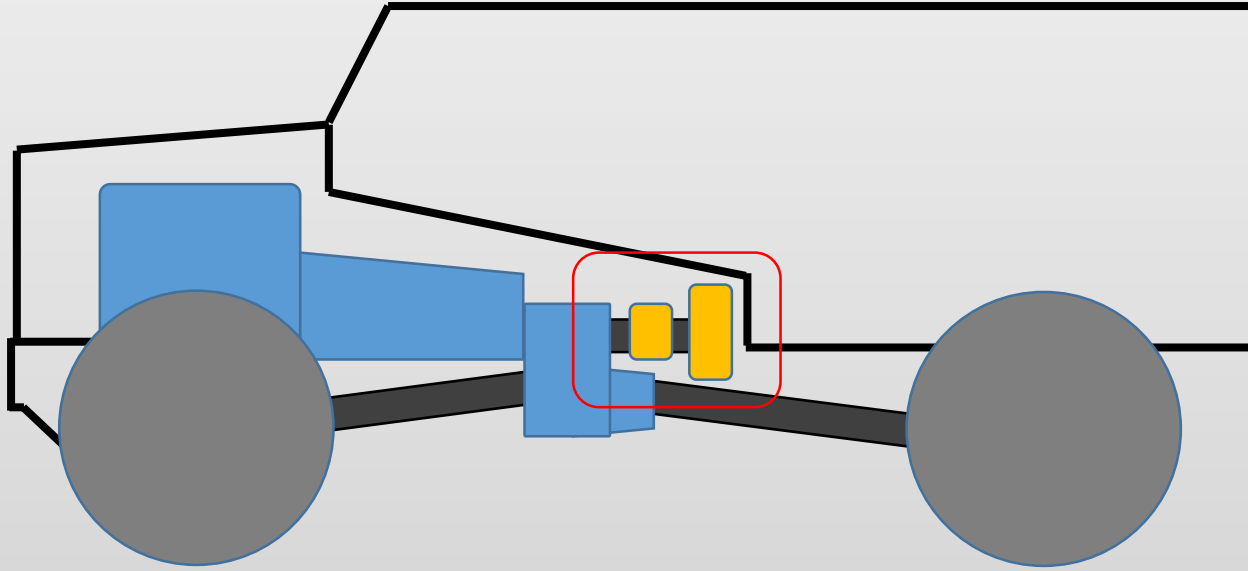
VOLAN BOYUTLANDIRMASI



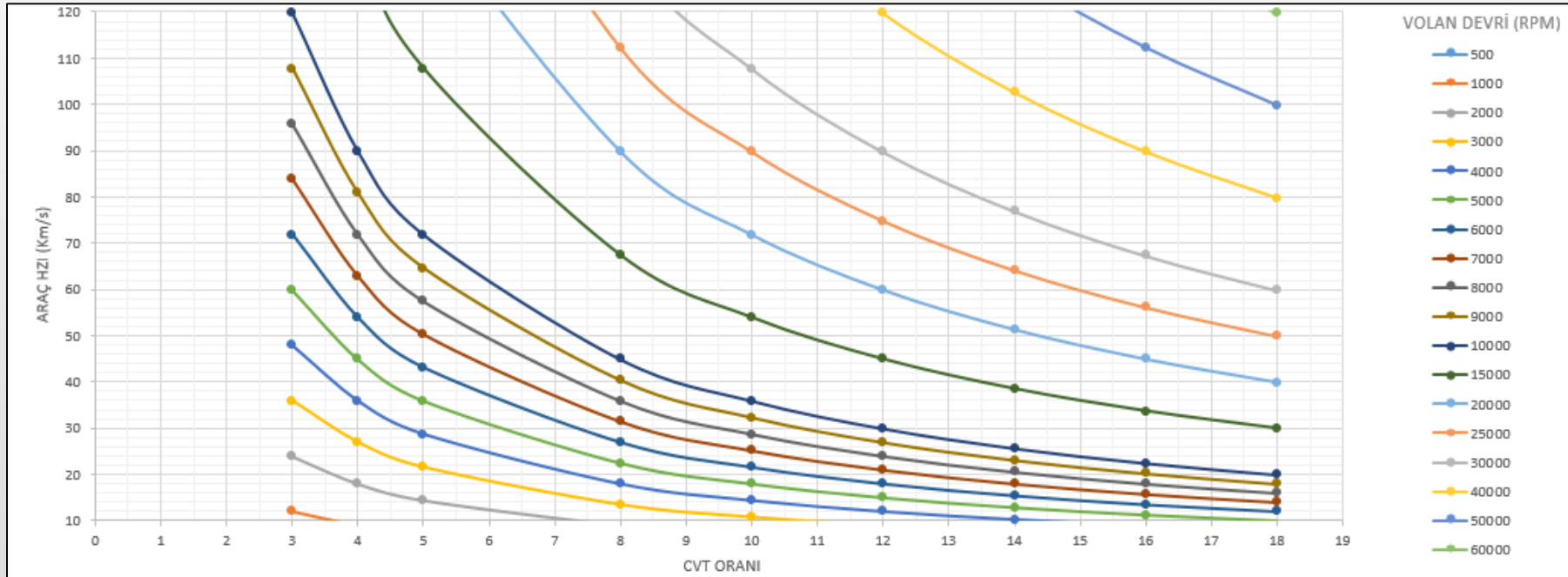
ARAÇ İÇİ YERLEŞİMİ



ARAÇ İÇİ YERLEŞİMİ

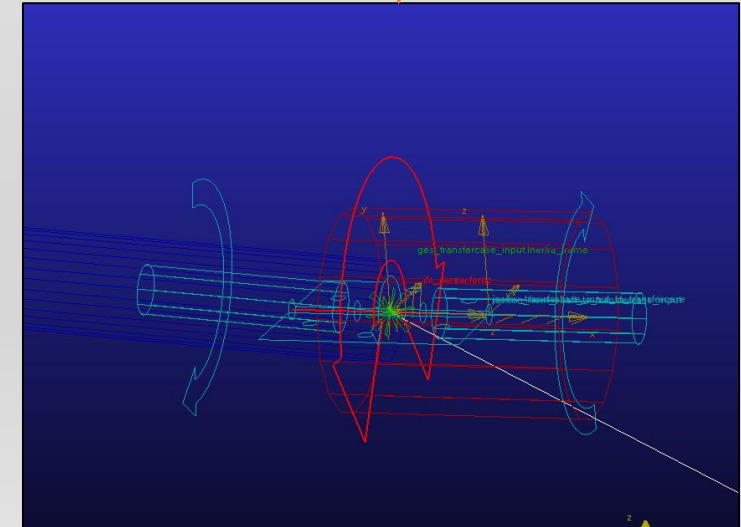
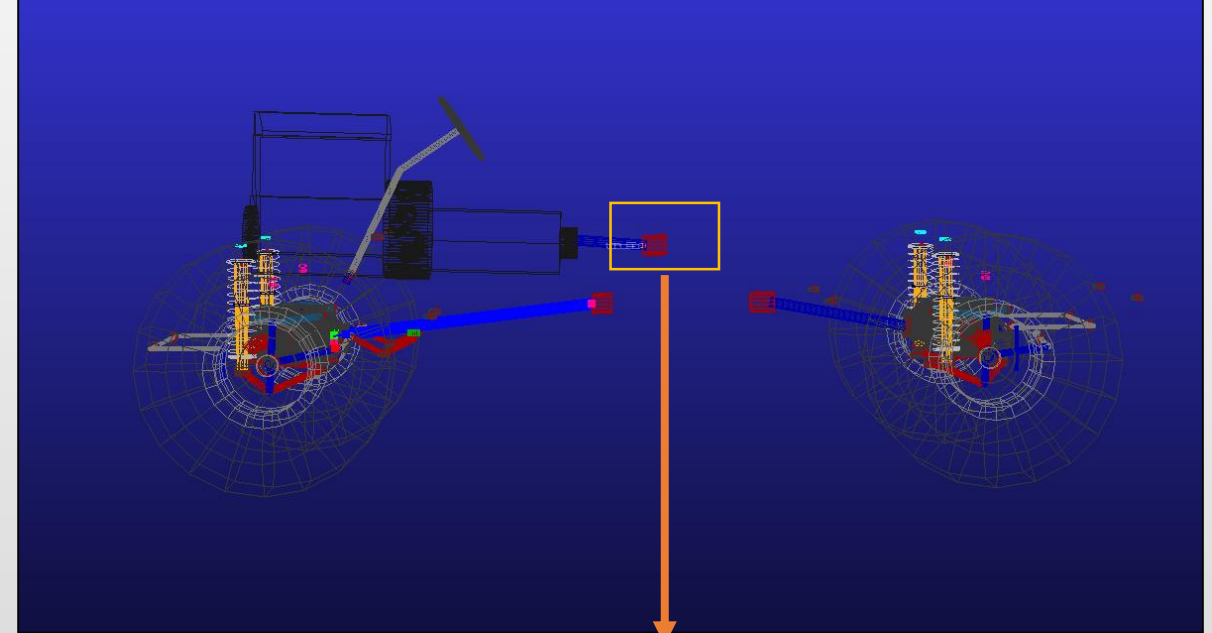
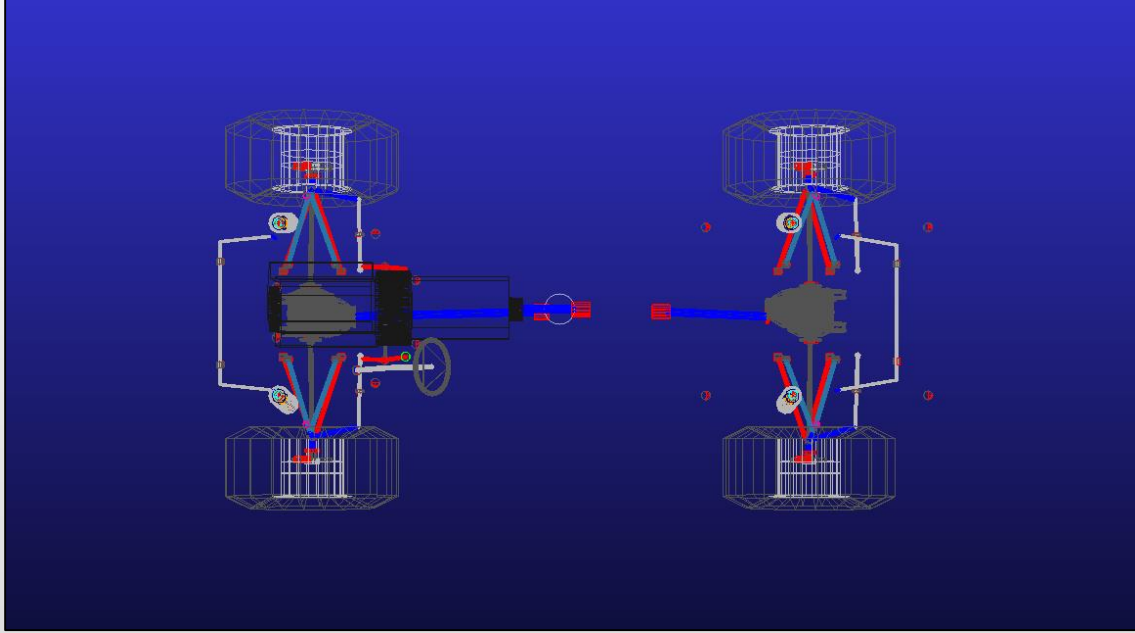


CVT SEÇİMİ



Volandan maksimum performansı elde etmek için tahrik torkunun volana yumuşak bir şekilde aktarılması çok önemlidir. Kinetik enerji geri kazanım sistemi giriş hızı ile volan hızı arasındaki oran frenleme ve hızlanma sırasında sürekli olarak değişmektedir. Bu sistemde kademeli tahrik ünitesi tercih edilmemektedir. Çünkü kademeli tahrik üniteleri yalnızca sabit sayıda dişli oranına sahiptir. CVT sistemleri ise maksimum ve minimum değer arasında herhangi bir güç kaybı yaratmadan kesintisiz bir aktarım sağlayan sonsuz sayıda dişli oranına sahiptir. Böylelikle aracın hızlanması ve yavaşlaması sırasında volanın da hızlanması ve yavaşlaması yumuşak bir şekilde sağlanabilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi kinetik enerji geri kazanım sistemi tasarımı birçok parametreye bağlıdır. CVT oranı, araç hızına göre volanın hızının hangi değerler arasında olabileceğini belirlemektedir. Driveline oranları, maksimum volan devri ve hız profili dikkate alındığında 1:6 oranlı CVT ünitesinin sabit 3 oranlı redüktör dişli ile birlikte kullanılmasına karar verilmiştir. Toplam vites oranı 3:18 arasında değişmektedir.

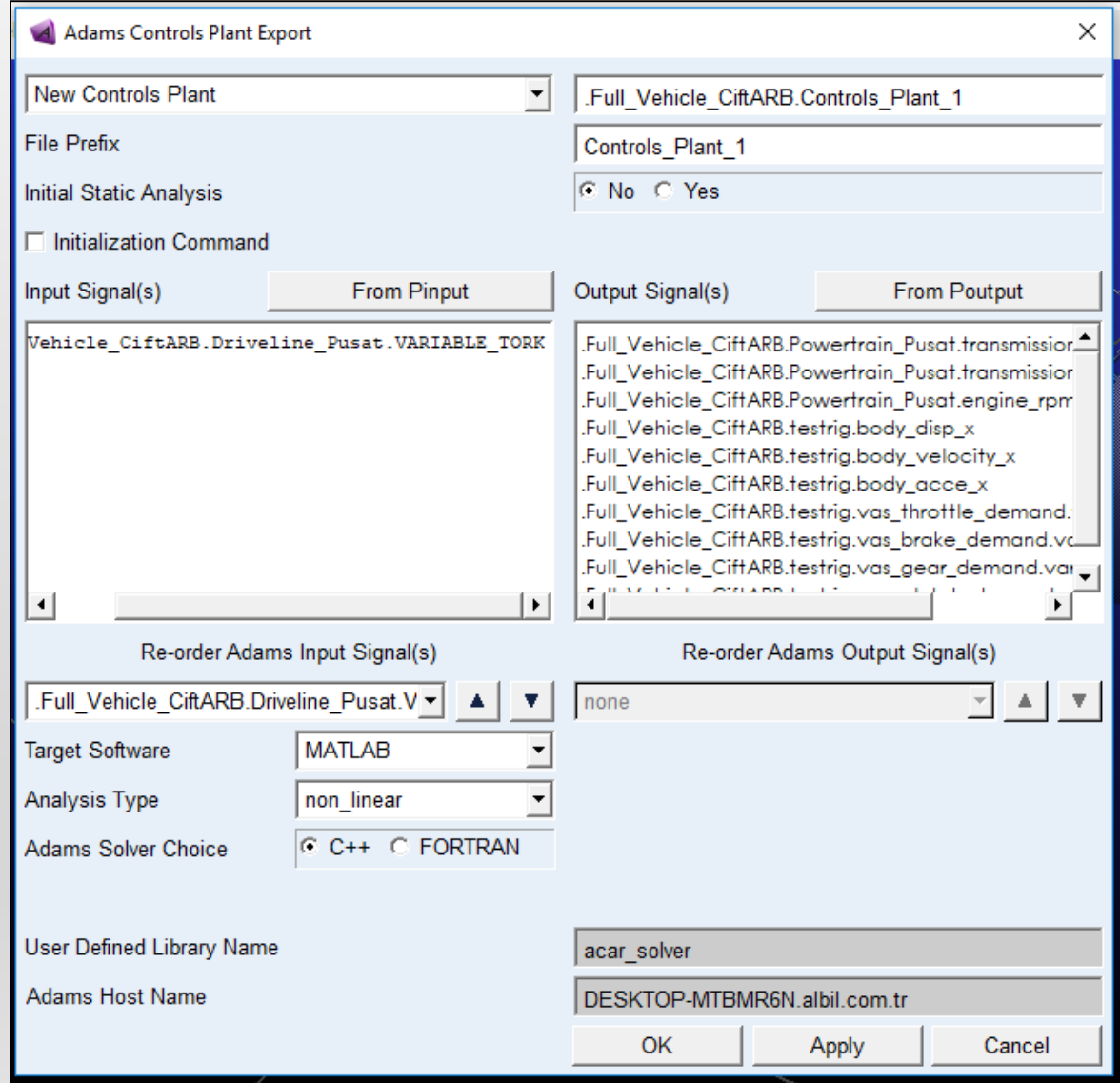
ADAMS/Car MODELİ



Frenleme enerjisi geri kazanım sistemi performansını test etmek amacıyla MSC Adams/Car programında aracın dinamik modeli oluşturulmuştur. Adams ile Simulink arasında iletişimi sağlamak amacıyla Adams programında sistem değişkeni tanımlanmıştır. Bu değişken Simulink programında kullanılacak olan Adams alt sistem bloğu için giriş özelliği taşımaktadır. Analiz boyunca Simulink tarafından bu değişkenin değeri sürekli olarak hesaplanmakta ve Adams programına aktarılmaktadır.

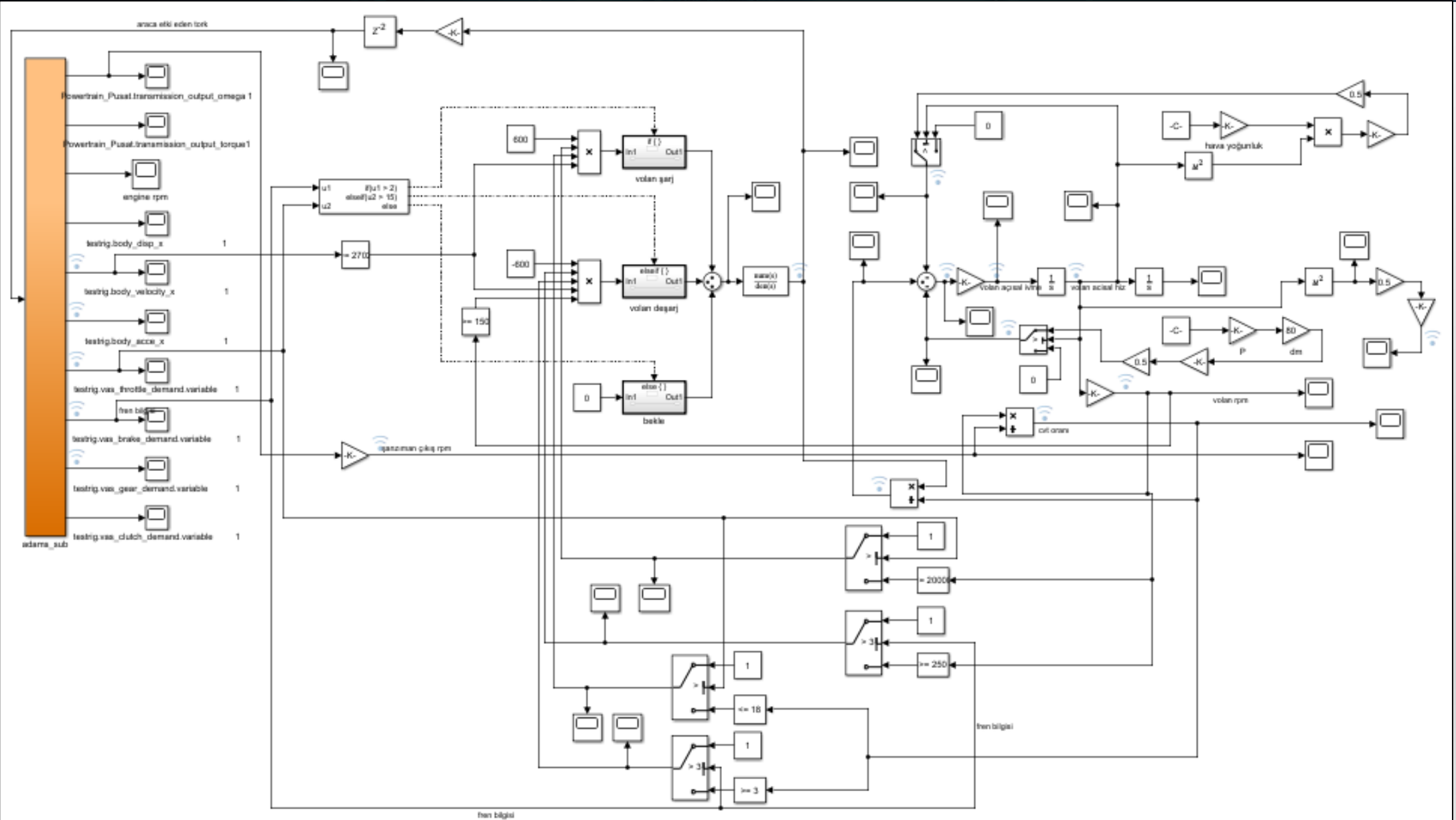
ADAMS/Car ve MATLAB/Simulink Co-Simulasyon

MSC ADAMS/Car programı Matlab/Simulink ile eş zamanlı simülasyon için özelleştirilmiş kullanıcı arayüzü sunmaktadır. Bu arayüz üzerinden input ve output'lar kolaylıkla tanımlanabilmektedir.

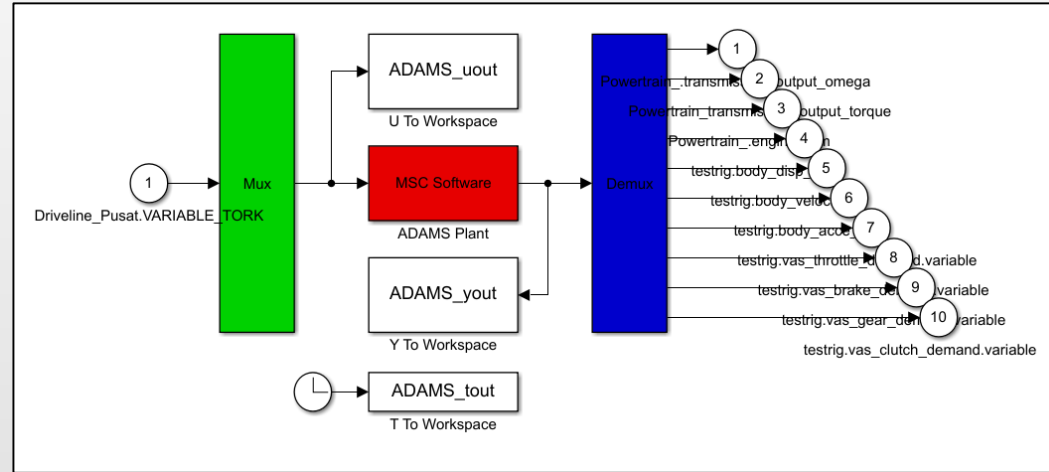


The screenshot shows the "Adams Controls Plant Export" dialog box. The "New Controls Plant" dropdown is set to ".Full_Vehicle_CiftARB.Controls_Plant_1". The "File Prefix" is "Controls_Plant_1". The "Initial Static Analysis" is set to "No". The "Initialization Command" checkbox is unchecked. The "Input Signal(s)" are selected from "From Pinout" and include ".Full_Vehicle_CiftARB.Driveline_Pusat.VARIABLE_TORK". The "Output Signal(s)" are selected from "From Poutput" and include ".Full_Vehicle_CiftARB.Powertrain_Pusat.transmissior", ".Full_Vehicle_CiftARB.Powertrain_Pusat.transmissior", ".Full_Vehicle_CiftARB.Powertrain_Pusat.engine_rpm", ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.body_disp_x", ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.body_velocity_x", ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.body_acce_x", ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.vas_throttle_demand", ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.vas_brake_demand.vc", and ".Full_Vehicle_CiftARB.testrig.vas_gear_demand.vc". The "Re-order Adams Input Signal(s)" dropdown is set to ".Full_Vehicle_CiftARB.Driveline_Pusat.V". The "Re-order Adams Output Signal(s)" dropdown is set to "none". The "Target Software" is "MATLAB", the "Analysis Type" is "non_linear", and the "Adams Solver Choice" is "C++". The "User Defined Library Name" is "acar_solver" and the "Adams Host Name" is "DESKTOP-MTBMR6N.albil.com.tr". The "OK", "Apply", and "Cancel" buttons are at the bottom.

MATLAB/SİMULİNK MODELİ



MATLAB/SİMULİNK MODELİ



ŞARJ MODU: Fren bilgisinin olduğu ve gaz pedalı bilgisinin olmadığı durumda volan şarj modunda çalışacaktır. Driveline üzerinde noktasal tork olarak tanımlanan noktadan aracı yavaşlatma yönünde tork oluşturulacaktır. Bu tork CVT üzerinden volana aktarılarak volanın hızlanması sağlanacaktır. Böylelikle frenleme enerjisinin bir kısmı volanın devir sayısının artırılması için kullanılacak ve aracın hızlanması için kullanılmak üzere depolanacaktır.

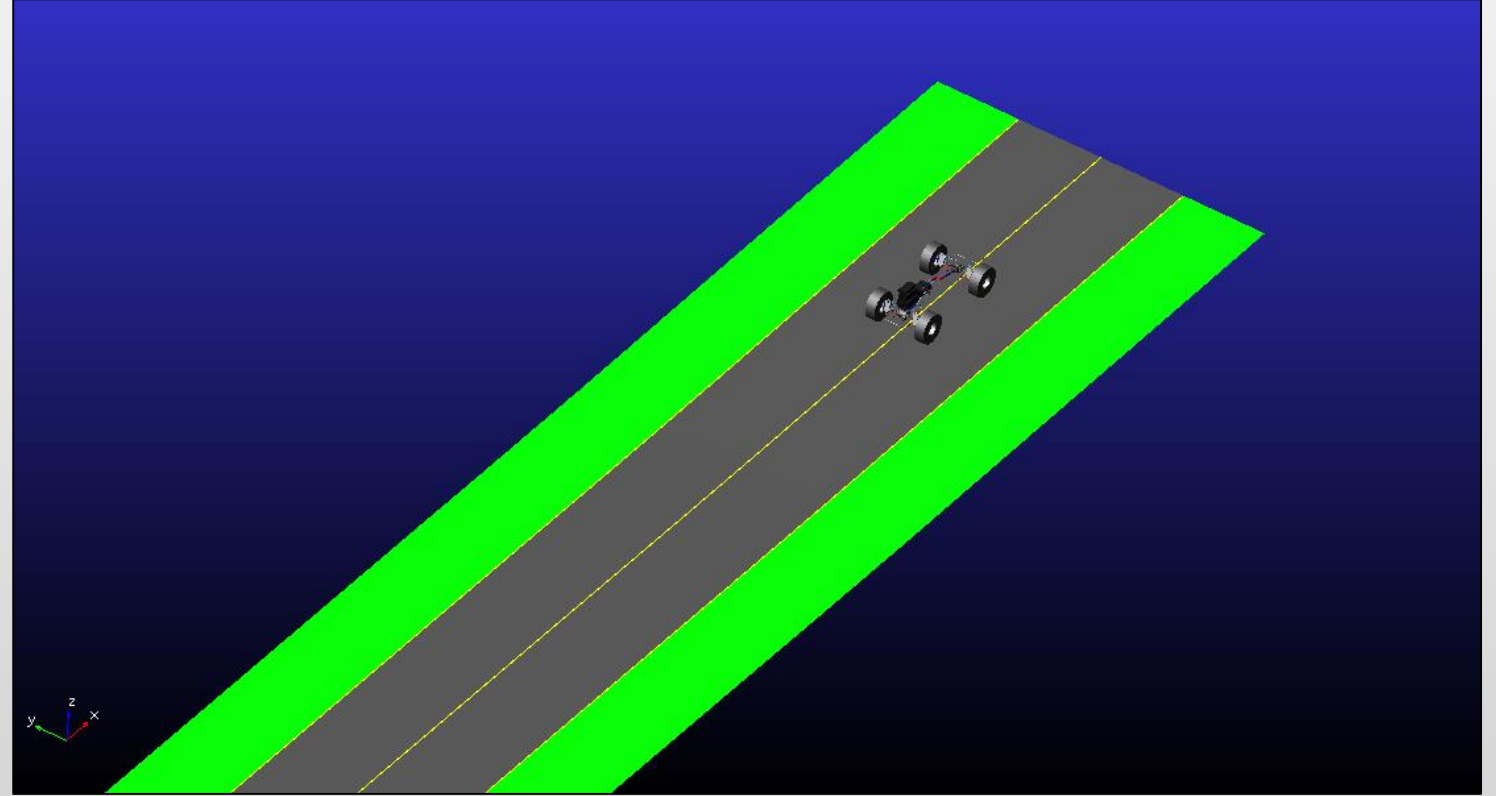
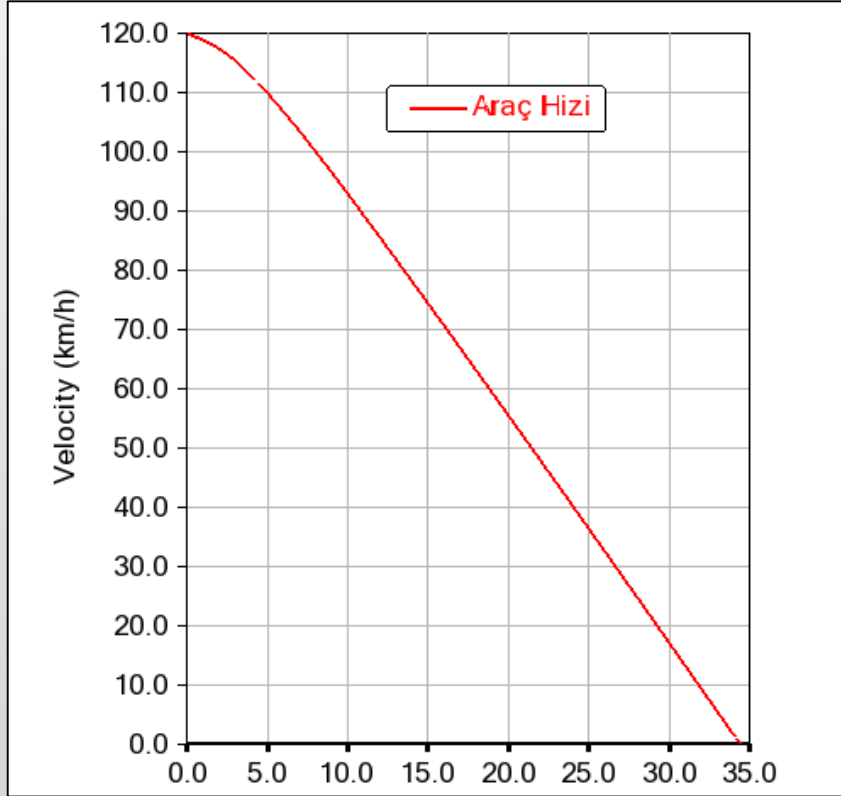
BEKLEME MODU: Bekleme durumunda ise volan üzerinden araca herhangi bir tork aktarımı olmayacak fakat hava direnç ve rulman sürtünme kuvvetleri altındaki volan yavaşlamaya devam edecektir. Bu sebepten dolayı uzun süreli beklemelede volanda depolanan enerjide kayıp olacaktır.

DEŞARJ MODU: Volan deşarj modunda ise volanın dönme hareketinden dolayı sahip olduğu enerji CVT üzerinden driveline üzerindeki noktasal tork değişkeninin tanımlandığı noktaya aktarılacak ve aracı hızlandırmaya katkı sağlayacaktır.

PERFORMANS ANALİZLERİ

Hızlanma, yavaşlama ve hız profili analizleri

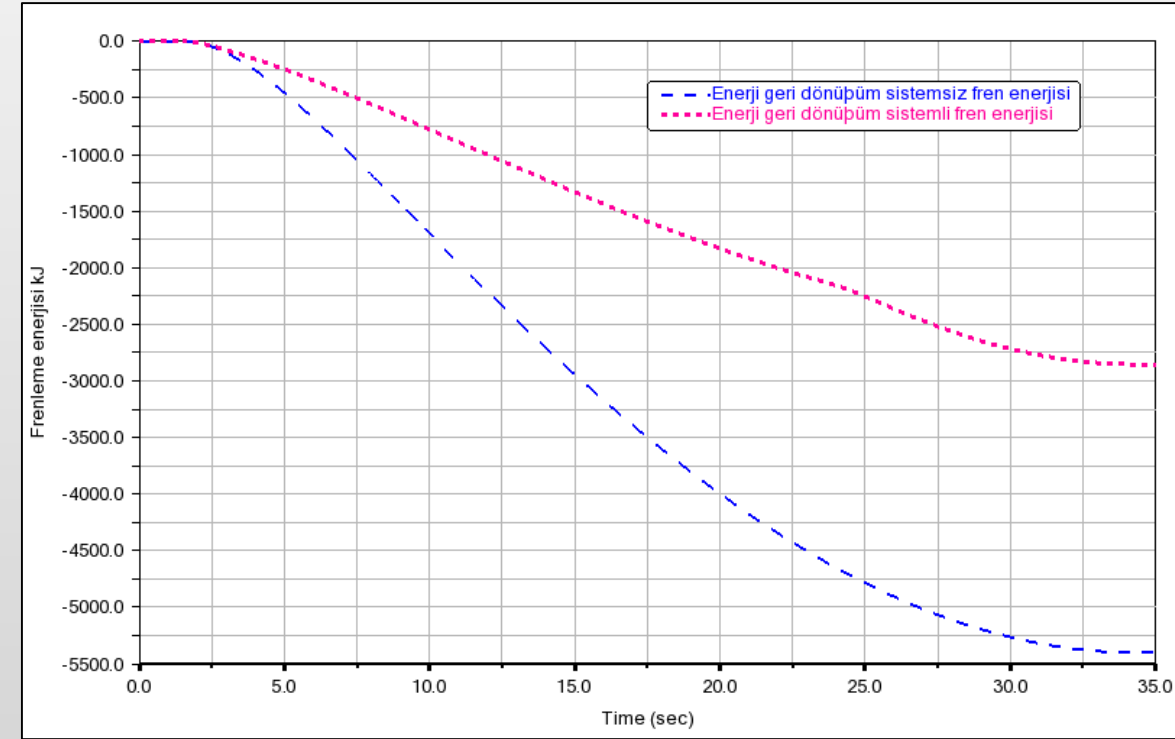
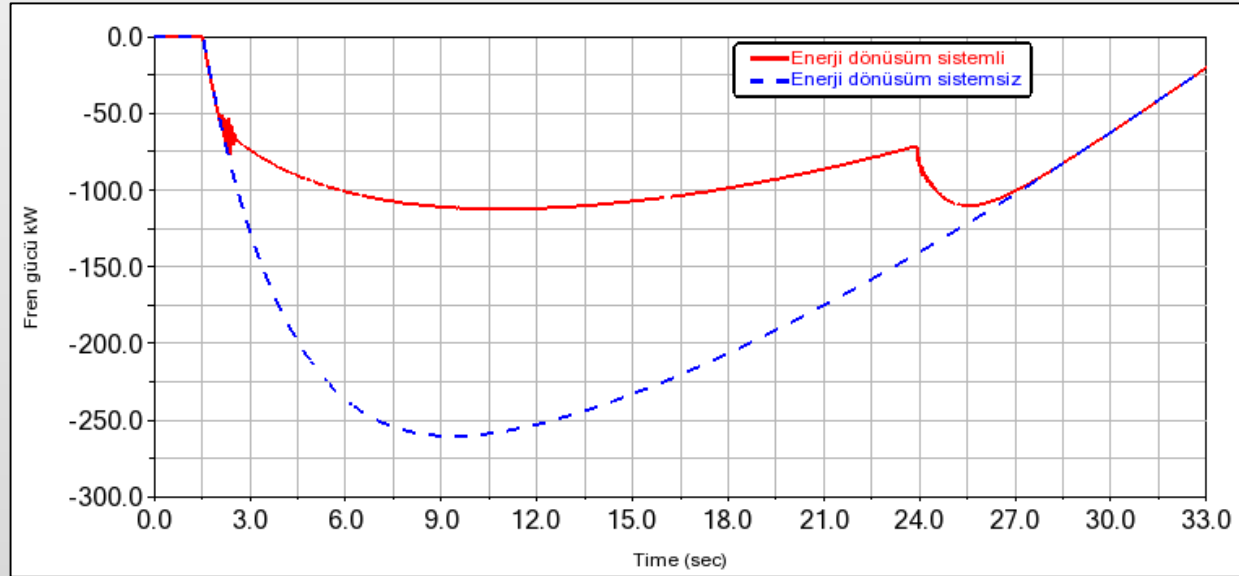
FRENLEME ANALİZİ



Aracın frenlemesi sırasında aracın fren enerjisinin volana aktarılmasını ve sistemin genel çalışma prensibini ortaya koymak amacıyla ilk olarak yaklaşık 0.1 G'lik bir frenleme ivmesi ile aracın hızı 120km/s'den 0 km/s'e indirilmiştir.

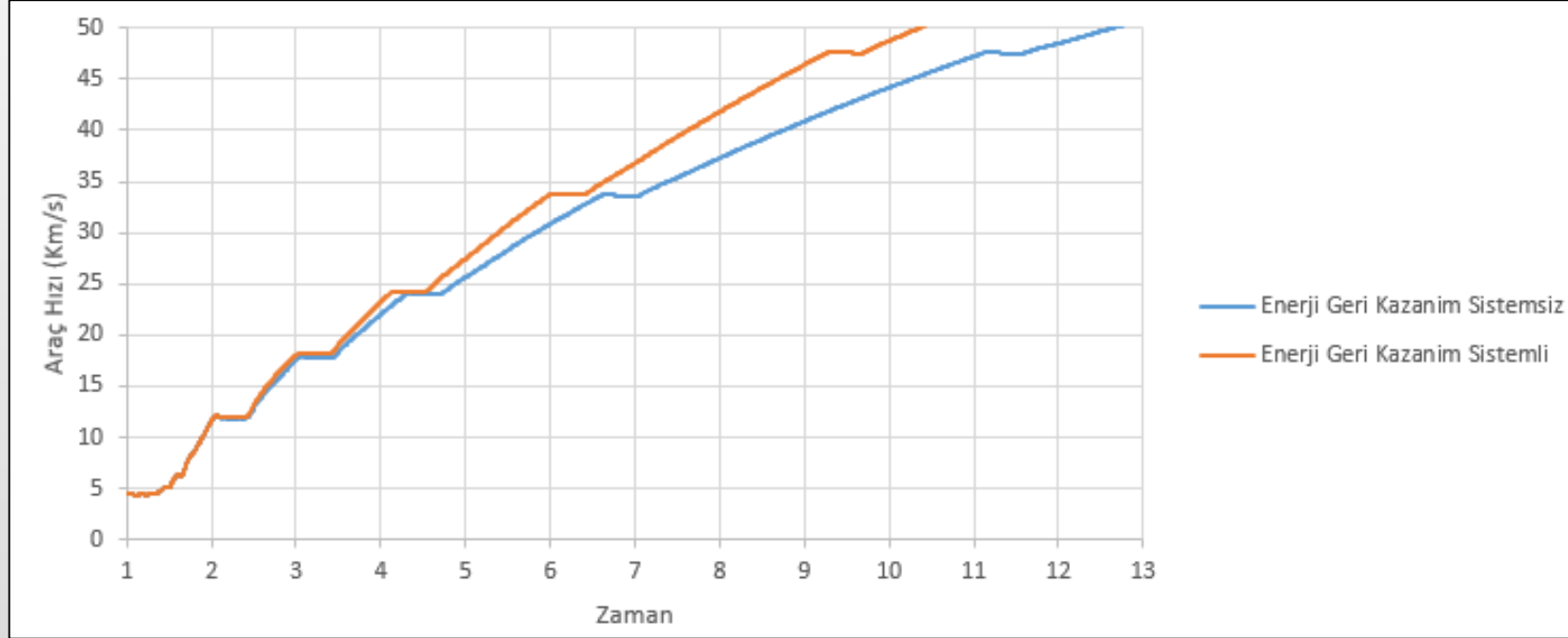
FRENLEME ANALİZİ

Soldaki grafikte fren gücü karşılaştırması ve sağdaki grafikte ise frenleme ile aracın servis frenlerinden açığa çıkan enerji miktarları karşılaştırılması verilmiştir.



Kinetik enerji geri kazanım sisteminin olmadığı durumda araç 120 km/s hızdan 0 km/s hıza indiğinde **5401 kJ** frenleme enerjisi açığa çıkmaktadır. Kinetik enerji geri kazanım sisteminin devrede olduğu durumda ise **2856 kJ** frenleme enerjisi açığa çıkmaktadır. Aradaki fark frenleme sırasında kinetik enerji geri kazanım sistemine aktarılan enerjiyi göstermektedir. Frenlemede açığa çıkan enerjinin yaklaşık yüzde 47'si tekrar aracı hızlandırmak için kullanılmak üzere volanda depolanmaktadır.

HIZLANMA ANALİZİ

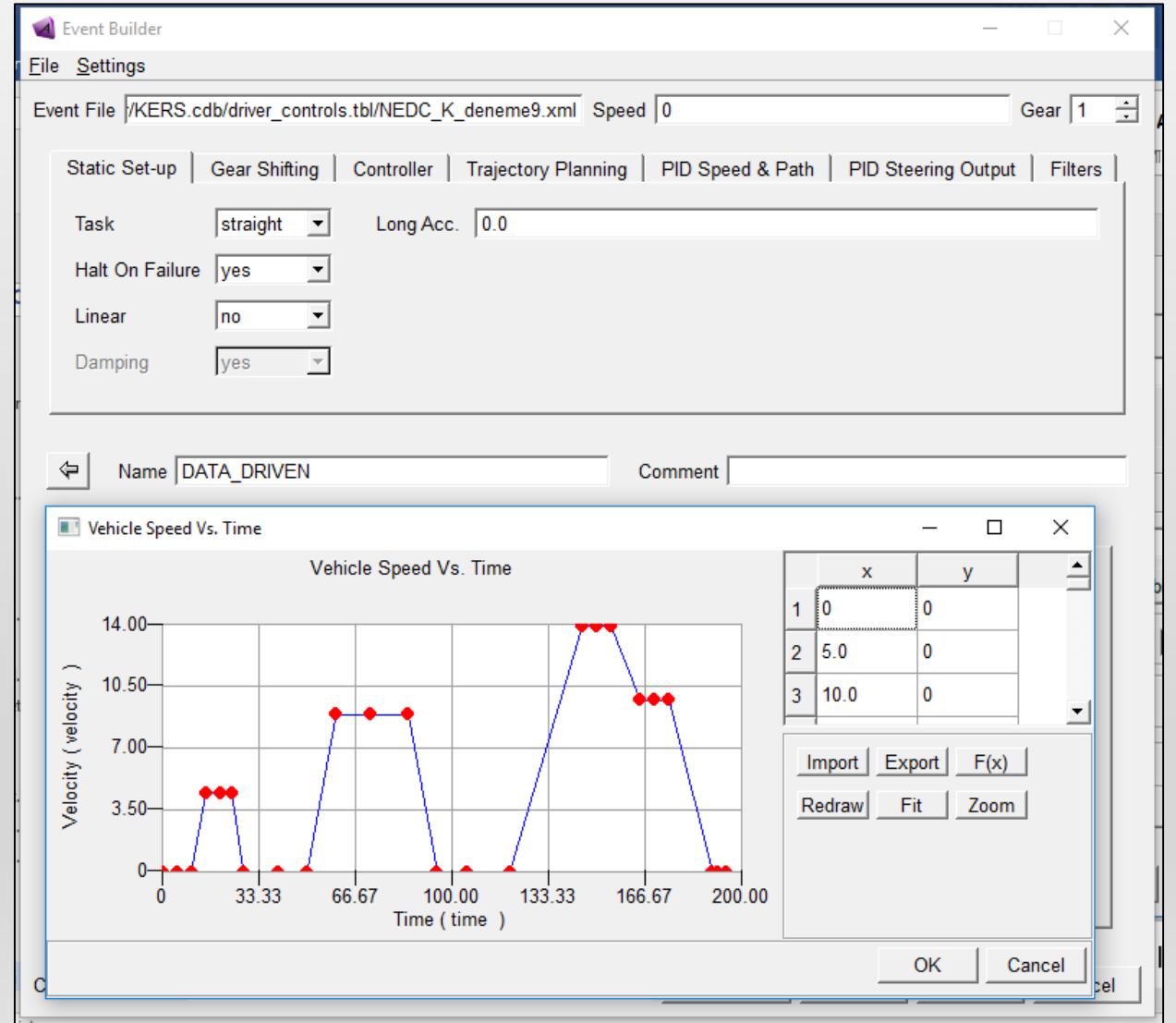


- Yukarıdaki grafikte Aracın 0 km/s – 50 km/s hızlanması sırasında kinetik enerji geri kazanım sisteminin aracın hızlanma performansına olan etkisi gösterilmiştir. Kinetik enerji geri kazanım sisteminin devrede olduğu durumda araç hızlanma süresinin %19 oranında iyileştiği görülmüştür.

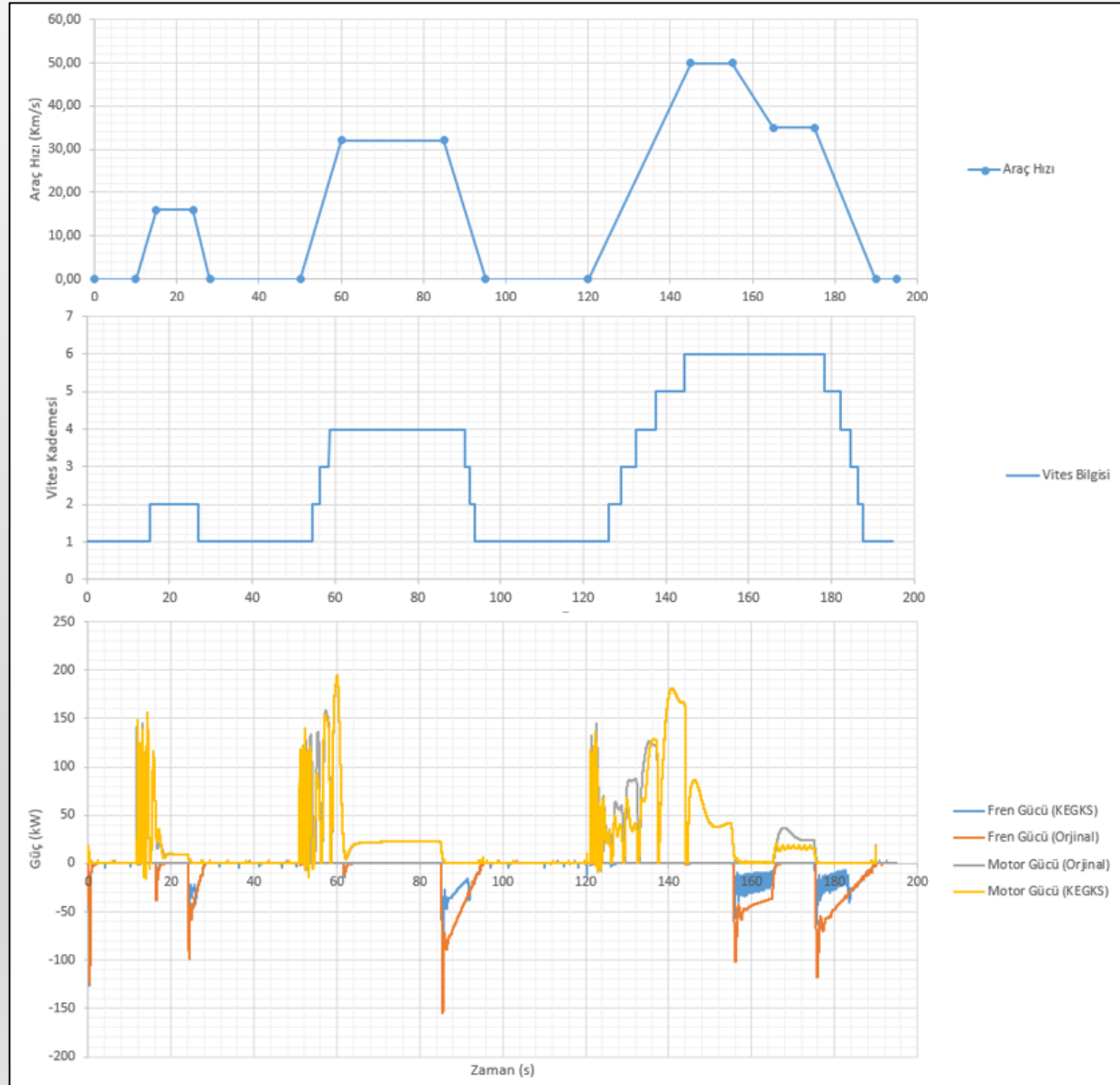
Araç Konfigürasyonu	0 km/s – 50 km/s Hızlanma Süreleri
Enerji Geri Kazanım Sistemli	10.3 Saniye
Enerji Geri Kazanım Sistemli	12.7 Saniye

NEDC ECE-15 HIZ PROFİLİ ANALİZİ

- ECE-15 çevrimi Avrupa Birliği tip onayı için araçların emisyon ve yakıt tüketim testi için kullanılmaktadır. Kinetik enerji geri kazanım sisteminin performansını test etmek amacıyla MSC Adams/Car programında Event Builder komutu yardımıyla bu çevrim oluşturulmuştur.

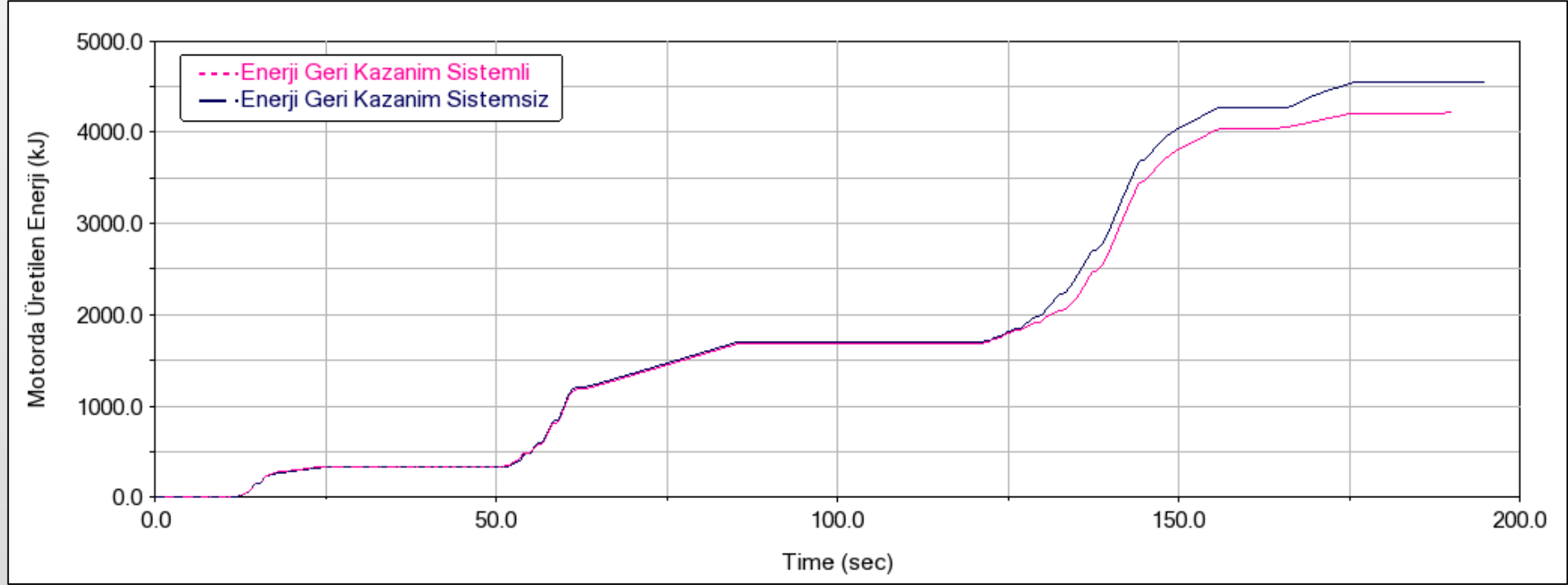


NEDC ECE-15 HIZ PROFİLİ ANALİZİ



- Yandaki grafikte sırasıyla, hız profili, vites bilgileri ve analiz sırasında ortaya çıkan fren gücü ve motor gücü karşılaştırması verilmiştir. Kinetik enerji geri kazanım sisteminin devrede olduğu durumlarda hem daha az motor gücüne ihtiyaç duyulduğu hem de daha az fren gücüne ihtiyaç duyulduğu grafikte açıkça görülmektedir.

NEDC ECE-15 HIZ PROFİLİ ANALİZİ



- Yapılan analiz sonucunda kinetik enerji geri kazanım sisteminin aracın servis frenlerinden açığa çıkan enerjiyi %43 oranında azalttığı ve motorda üretilen enerjiyi ise yaklaşık %9 civarında azalttığı görülmüştür. Analizin son durumunda volan 7320 RPM ile dönmeye devam etmektedir. 440 kJ'lük enerjinin volanda depolandığı anlamına gelmektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

14 Ton ağırlığındaki bir askeri araç için frenleme kinetik enerjisi geri kazanım sistemi tasarımı yapılmıştır. Mevcut kısıtlar altında optimum volan boyutlandırması yapılmıştır. MSC Adams/Car programında dinamik araç modeli oluşturulmuştur. Matlab/Simulink programında volan modeli oluşturulmuş ve volana etki eden direnç kuvvetleri tanımlanmıştır. Volanın devre giriş ve çıkış koşulları ile çalışma modları Matlab/Simulink modelinde tanımlanmıştır.

- 120 km/s – 0 km/s frenleme analizinde fren enerjisinin %47 sinin volan üzerinde depolanabildiği görülmüştür.
- Hızlanma analizinde ise kinetik enerji geri kazanım sisteminin aracın 0 km/s – 50 km/s hızlanma süresini %19 oranında azalttığı görülmüştür.
- Standart bir sürüş profili ile yapılan analizlerde, sürüş sırasında aracın hızlanma yavaşlama sırasında aracın fren enerjisi ve motor gücü gereksinimleri ortaya konulmuş, kinetik enerji geri kazanım sisteminin, gerekli motor gücünü %9 oranında azalttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] F.J.M. Thoolen, (1963). "Development of an advanced high speed flywheel energy storage system"
- [2] Khademul ISLAM, (2011). "Sizing and Control of Flywheel Energy Storage for Ramea Wind-Hydrogen-Diesel Hybrid Power System"
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrobus>
- [4] <https://www.grc.nasa.gov/WWW/portal/pdf/flywheel.pdf>
- [5] Kerry L. McLallin, Jerry Fausz, Ralph H.Jansen, Robert D. Bauer, (2011). Aerospace Flywheel Technology Development For IPACS Application
- [6] Alberto Boretti, (2010). Improvements of Truck Fuel Economy Using Mechanical Regenerative Braking
- [7] Alberto Boretti, (2017). Kinetic Energy Recovery Systems For Racing Cars
- [8] Michael A. Conteh and Emmanuel C. Nsofor (2014). A Study on Flywheel Energy Recovery from Aircraft Brakes
- [9] Menahem Anderman (2004) The challenge to fulfill electrical power requirements of advanced vehicles
- [10] A. Andrijanovits, H. Hoimoja, D. Vinnikov (2012) Comparative Review of Long-Term Energy Storage Technologies for Renewable Energy Systems
- [11] Rickard Östergård (2011) Flywheel energy storage
- [12] Perry I-Pei Tsao (2003) An Integrated Flywheel Energy Storage System with a Homopolar Inductor Motor/Generator and High-Frequency Drive
- [13] 2009 Formula One Technical Regulations (2009)
- [14] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett (2011) Shigley's Mechanical Engineering Design ninth edition
- [15] Maria Inês Lopes Marques (2011) Design and Control of an Electrical Machine for Flywheel Energy - Storage System
- [16] <http://power-thru.com/> (2019) Powerthru, Clean Flywheel Energy Storage Systems for Government Applications
- [17] Firat Altan (2012) Modüler Volanda Enerji Depolama
- [18] <https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml> (2019) Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles
- [19] Bolund, Björn, Hans Bernhoff, Mats Leijon (2007) Flywheel Energy and Power Storage Systems
- [20] J.Y. Wong (2001) Theory of Ground Vehicles
- [21] Anup Bandivadekar, Kristian Bodek, Lynette Cheah, Christopher Evans, Tiffany Groode, John Heywood, Emmanuel Kasseris, Matthew Kromer, Malcolm Weiss (2008) On The Road in 2035
- [22] Ahmed F. Ghoniem (2011) Needs, resources and climate change: Clean and efficient conversion Technologies
- [23] Philipp Bergmann (2016) Modeling Wear of Journal Bearings
- [24] <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs14grc.html>
- [25] http://www.mcgs.ch/active_magnetic_bearings.html
- [26] Timken Super Precision Bearings for Machine Tool Applications Catalog
- [27] Bernard J. Hamrock, William J. Anderson (1983) Rolling Element Bearings
- [28] <https://www.skf.com/mena/products/bearings-units-housings>
- [29] <https://www.mscsoftware.com/product/adams>
- [30] General Electric Company Corporate Research and Development Schenectady (1976) Demonstration Of An Inductor Motor/Alternator/Flywheel Energy Storage System
- [31] <https://www.amroll.com/friction-frequency-factors.html>
- [32] Yongjie Han, Zhengyi Ren, Yongxiang Tong (2012) General Design Method of Flywheel Rotor for Energy Storage System

TEŞEKKÜRLER

Soru-Cevap

