

ENOCH TASARIMI

Mansuri Çaynak¹

1. GİRİŞ

Bu çalışma, çok amaçlı, kullanımı kolay ("Drive by Wire"), elektrik tahrikli aracın tasarlanması ve modüler üniteler halinde geliştirilmesini içermektedir. Bu çalışma ile aynı zamanda dünyada iş makineleri sektöründe yeni gelişen elektrik tahriki ve kontrolü eğiliminin ülkemize kazandırılmasını amaçlamaktadır.

Günümüzde inşaat, sanayi, tarım ve madencilikte kullanılan yol dışı makineler, gelecekteki beklentileri karşılamak için yeniliklere gereksinim duymaktadır. Makinaların üretim, stok ve transfer maliyetleri oldukça yüksektir. Modüler yapılar sayesinde bu sektörlerde gereksinim duyulan ağır hizmet aracından beklenen birçok kullanım senaryosu tek bir platformda bir araya getirilmiştir. Böylelikle üretim, stoklama, transfer ve kullanım şeklinin değiştirilmesiyle, imalat ve stok maliyetleri düşürülerek yeni bir ürün ortaya konulmuştur.

2. GELİŞTİRİLEN ARAÇ "ENOCH"

ENOCH "Electric Next-Generation Operational Commodity Handler" olarak adlandırılan; çok amaçlı, güçlü, geliş-

tirilebilir, verimli, güvenli, kullanımı kolay, internete bağlı ve otonom çalışabilen çevre dostu bir iş makinası olarak, modüler yapılı olması ve yüksek teknolojiyi kullanmasıyla pazardaki endüstriyel ve inşaat makinelerinin yaptığı tüm işleri gerçekleştirmektedir. Kazı, yükleme, kaldırma, nakliye ve beton işleri, aracın tam modüler yapısı sayesinde tek makinala yapılmaktadır. Makina kontrol birimine uzaktan erişilebilmekte, kontrol yazılımları güncellenebilmekte, bölgeye ve kişiye göre çalışma limitleri konulabilmektedir.



Şekil 1. ENOCH Platformu

¹ Mansuri Çaynak, Makina Mühendisi, Modüler Makina San.ve Tic. A.Ş. Teknopark İstanbul - mansuri@modulermakina.com



Şekil 2. ENOCH Bileşenleri: Modüller ve Donanımlar

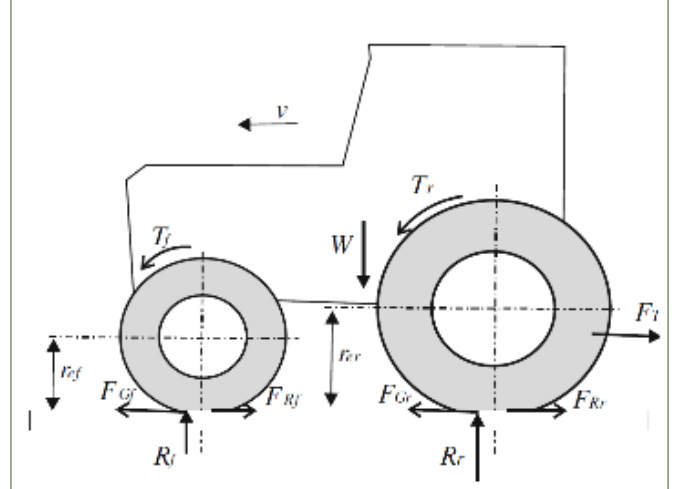
Sanal modelleme ile geliştirilmiş, marka bağımsız olarak tasarlanmıştır.

İş makinası ana hatlarıyla; tek tip 4x4 platform (ana şase), bu şasenin değişik yerlerine takılma özelliğine sahip operatör kabini, jeneratör modülü ve ilave bataryalar ile, bu platforma takılacak birçok donanımdan oluşmaktadır.

Makina, tedarikçilerden alınacak akslar, elektrik motorları, batarya, hidrolikler (pompa-valf) ve üretilecek ana şase ve ataşmanlardan oluşacaktır. Yapılacak Ar-Ge çalışmasında öncelikle, makinanın çok alanlı ("multi domain") modelinin geliştirilmesi, aksamaların optimal çalışması için modelde bileşen şartnamelerinin oluşturulması ve sonrasında araç elektronik kontrol ünitesinin (ECU) tarafımızca geliştirilerek üretilmesi, yüklenecek algoritmaların yazılması işlemlerini kapsamaktadır.

3. ARACIN ELEKTRİKSEL, MEKANİK VE HİDROLİK SANAL MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Aracın mekanik sanal modeli oluşturulurken, literatürde kullanılan matematiksel modellerden yararlanılmıştır. Lastik tekerlekli bir aracın dinamik analizinin yapılması için; ağırlık, ağırlık merkezinin konumu, ön ve arka tekerlek eksenlerinin ağırlık merkezine göre konumu, aracın ivmesi, tekerlek çapları, aks ve şanzımda bulunan dişli oranları gibi birçok değişkenin belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3. Yüzey ve Araç Arasında Oluşan Kuvvetlerin Gösterimi [1]

Matematiksel hesaplamalara göre mekanik sanal model oluşturulurken MATLAB-Simulink programından yararlanılmıştır. Blok diyagram şeklinde kodlama yapmaya izin veren altyapısı sayesinde simülasyon avantajı ile aracımız hakkında gerçekçi analizler yapılmasına olanak verirken, kullanımı ve geliştirmesi kolay bir model ortamı sağlanmıştır.

Aracın genel boyut tasarımları yapılırken kompakt-orta boyutlu bir iş makinası platformu düşünülmüş, bu doğrultuda pazardaki 4.5 tonluk arazi forkliftleri, 1,5 m³ genel maksat kovalı lastik tekerlekli yükleyiciler ve 150 HP kategori 3 bağlantı tipli tarım traktörleri incelenmiştir. Bu sayede genişlik, uzunluk ve akslar arası mesafe genel hatlarıyla oluşturulmuştur. Platformun genişliği, tekerlekle beraber 2.400 mm, aks merkezleri arası mesafe 3.000 mm, platform durumundaki yerden yükseklik 1.400 mm ve karın altı yüksekliği 490 mm olarak uygulanmıştır. ENOCH'un boyutları, gücü ve pazardaki rakipleri belirlendikten sonra, elektronik kontrollü sürüş fonksiyonu "drive by wire" olacak şekilde hidrolik sisteminin kurulmasına geçilmiştir. ENOCH gibi uzaktan kumandalı, yeni jenerasyon (otonoma hazır, uzaktan erişimli) bir elektrikli araçta, fren ve direksiyonlama sisteminin tamamen kontrolcü tarafından yapılması gerekmektedir. Buna bağlı olarak; direksiyon ve frenler için hidrolik model kurulmadan önce, sistem bütünüyle düşünülüp "PWM" tetiklemeli ya da kontrol alan ağı "Control Area Network BUS - CAN Bus" olan oransal valfler tercih edilmiştir. Sistem pompasını sürececek motor besleme gerilimi 24V olup, aracın geri kalanından bağımsız olacağı için sanal modeli de ayrı bir

lehandler ve dozer bıçağı gibi ataşmanlarda karşılanması gereken farklı ölçü parametreleri olduğundan, şasi tasarımı da bu kriterlere dikkat edilerek yapılmıştır.

ENOCH için genel boyutlandırmaya karar verildikten sonra tahrik sistemi bileşenleri seçilmeye başlanmıştır. Bunun için çeşitli aks ve şanzıman tedarikçileriyle görüşülmüş ve kategori 2 direksiyonlamalı aksların kullanılmasının uygun olduğu saptanmıştır. Yol ve çalışma hızı için: İki kademe 1200 Nm torklu şanzımanın kullanılmasına karar verilmiştir.

Piston kalınlığı, kova büyüklüğü ve bağlantı noktaları gibi yükleyici donanımının da temel özellikleri belirlenmiştir. Platform için ise, kapak yapısının nasıl olacağı, dış ölçüler ve genel görünüş belirlenmiştir.

6. PLATFORM VE YÜKLEYİCİ DONANIMIN DETAY TASARIMI

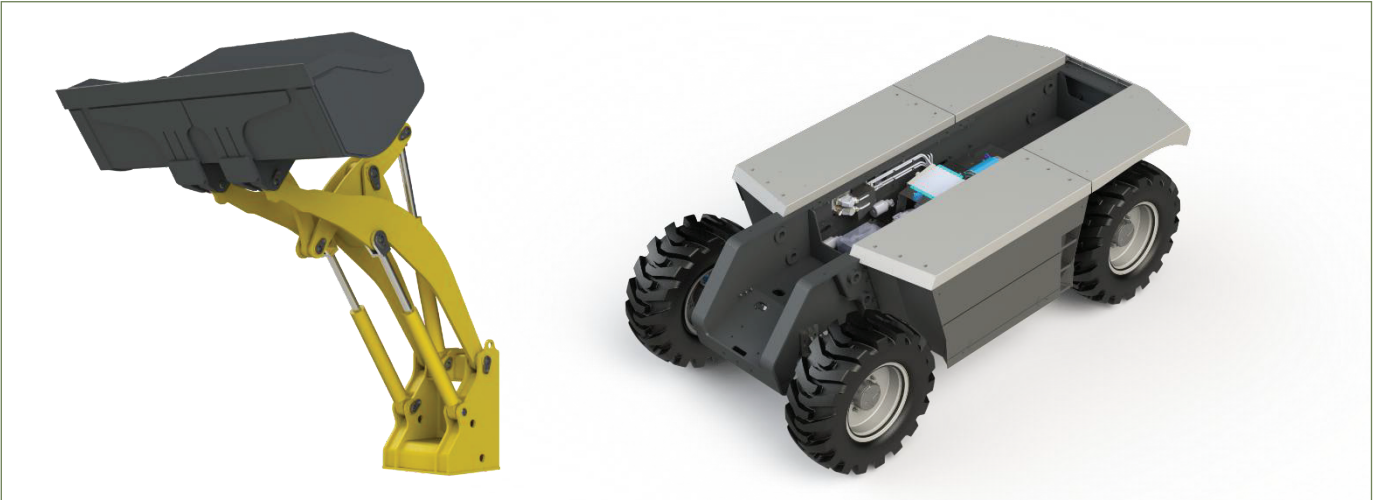
ENOCH'u düz bir taşıma platformu haline getirecek kapakların optimizasyon tasarımları yapılmış ve üretilmiştir. Bu kapaklar, hem içerideki elemanları dış etkilerden koruyacak, hem de platform üzerine sabitlenecek modüller için bir zemin sağlayacaktır. Aynı zamanda sökülerek makina şasisinin ön tarafındaki ve arka kısmındaki donanım bağlama kuleleri ortaya çıkacaktır. Örneğin, yükleyici

tır. Bununla beraber pistonlar üzerinde kuvvet ve hız analizi, hidrolik modül özelliklerine göre yapılmıştır. Aracın donanım hidroliği, yükleyici ataşmanı ile beraber analiz edildikten sonra piston seçimleri, yükleyici ataşmanının boyutsal erişim özellikleri en az rakip yükleyiciler kadar olması sağlanmıştır. Bu sayede makina çok amaçlı bir platform olmasına karşın, yükleyici olduğunda en az piyasadaki rakipleri kadar ödün vermeden iş yapabilecek yeteneğe olması sağlanmıştır.

7. ELEKTRİK GÜÇ AKTARIM SİSTEMİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Çok disiplinli sanal modeller sayesinde araca çeşitli görev çevrimlerini uygulamak, bu iş paketini gerçekleştirmekte çok yardımcı olmuştur [5]. Çeşitli makaleler incelenerek oluşturulan bir yükleyici görev çevrimi, olduğundan daha zor koşullar girilerek aracın sanal modeline uygulanmıştır. Buradan elde edilen verilerle de motorun sahip olması gereken maksimum tork miktarı ve 600 V olarak seçilen gerilim seviyesinde ortalama çekeceği güç miktarı hesaplanmıştır.

Tüketilecek ortalama toplam güç miktarının zorlu Y-Cycle uygulandığında 37 kW olması nedeniyle, aracın sadece bataryasıyla çalışabileceği süre yaklaşık iki saat olarak

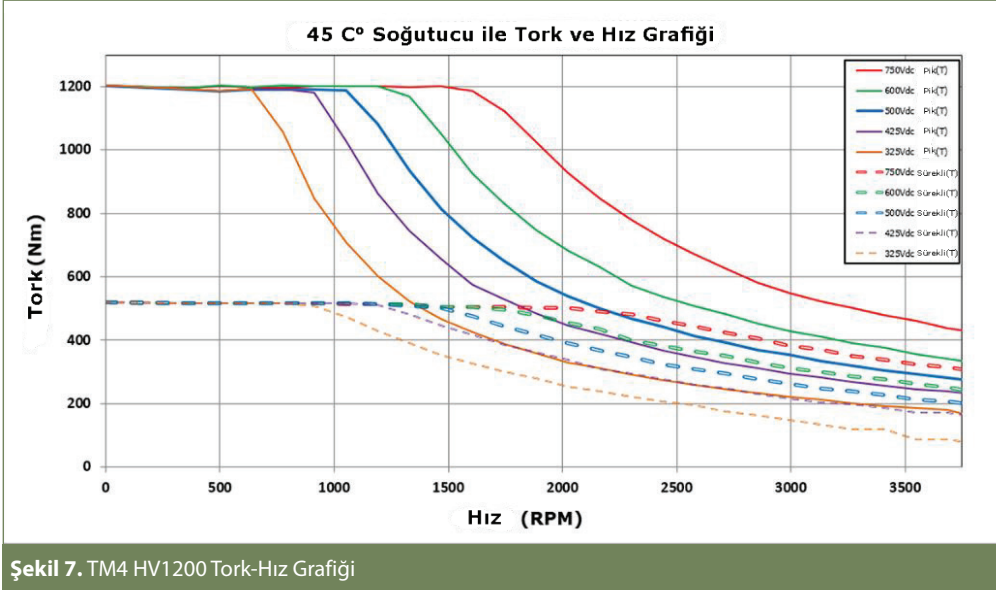


Şekil 6. Yükleyici Donanımı Tasarımı

donanımı ön kuleye, telehandler donanımı arka kuleye takılabilecektir.

Ön tasarımı yapılan donanım için, ENOCH'a benzer daha fazla araç incelenmiş ve ölçülerde değişiklikler yapılmış-

seçilmiş ve 64,5 kWh kapasiteli özel üretilecek bir batarya tasarlanmıştır. Aracın ortalama tüketim koşulunda üç saat, maksimum olarak da sekiz saat çalışacağı öngörülmektedir.



600 V nominal gerilimde toplam 300 A akım verecek şekilde tasarlanan iş makinası bataryasında, LFP hücreler kullanılmıştır. Bu tip hücrelerin tercih edilme nedeni piyasada daha yaygın bulunan NMC hücrelere göre daha uzun ömürlü olması, daha güvenli çalışması (yanma direnci fazla) ve tehlikeli ortam koşullarına karşı daha yüksek toleranslı olmasıdır. LFP tip hücreler, daha ağır olmasından ötürü genellikle çok tercih edilmese de ENOCH için bu ağırlık, yük kaldırmada faydalı yük olarak kullanılacağından avantaj sağlamaktadır.

Çekiş motoru için, verilen yükleyici görevinde aracın yükü girmesi ve yüklü bir şekilde yokuş çıkması için gereken torkun 1.000 Nm olması gerektiği hesaplanmıştır. Bunun yanında araçta çalışma ve yol hızı olarak iki hız belirlenmiştir. Belirlenen iki hızı da -çalışma: 12 km/sa, yol: 40 km/sa- sağlaması için şanzıman değerlerine göre minimum 3.700 d/dk dönüş hızına gereksinim bulunmaktadır. Bununla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda da TM4 HV1200 motoru seçilmiştir. Kendi sürücüsüyle beraber tedarik edilen tahrik motorunun, farklı sürüş modları ve gerektiğinde rejeneratif fren yapabilmeye özelliği bulunmaktadır.

Aracın yüksek güç elektroniğini oluşturacak bileşenlerin ("On-Board Charger", "DC-DC Converter", tahrik motoru inverteri, vb.) bataryadan sağlanan 600 V gerilime ulaşabilmesi ve güvenli şekilde bağlantısının yapılması için araçta bir güç dağıtım ünitesine gereksinim duyulmuştur.

Kullandığımız PDU ("Power Distribution Unit") CAN haberleşme yapısına sahip olacak şekilde donatılmıştır. Bu sayede elemanlara sigortalı şekilde güç sağlamakla kalmayıp, gerektiğinde elemanlara giden elektriği kontrolcünden gelen komutlara göre bağımsız şekilde kesip bağlayabilecektir. Hidrolik Modül ve Jeneratör Modülü gibi sonradan bağlanıp ayrılabilir bileşenler için; hem yüksek güç dağıtımını sağlayabilecek hem de kontrolcünden gelecek haberleşme

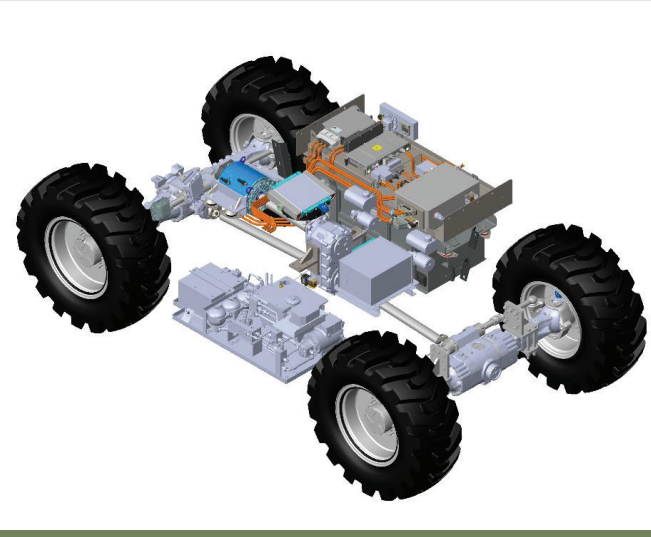
sinyallerini ve düşük gerilimi modüllere taşıyacaktır.

8. ENOCH PLATFORMU; ELEKTRİKSEL, MEKANİK VE HİDROLİK BİLEŞENLERİN YERLEŞİMİ VE BAĞLANTI HATLARININ TASARIMI

Seçilen elemanlar, artık araç üzerine yerleştirilmeye hazır hale gelmiştir. Bu noktada ENOCH üzerinde bulunan yan kutulardan sol taraftaki elektrik sisteminin, sağ taraftaki ise direksiyonlama ve fren hidrolik sisteminin yerleştirilmesi için tasarlanmıştır. Geri kalan yürür aksamlar ise (Motor-Şanzıman-Akslar), birbirine kardan şaftlarla bağlı bir şekilde şasi içine aracın ortasında konumlandırılmıştır.

Sol taraftaki kutunun içine sabitlenecek batarya, şasiden çıkan iki destek üzerine takozlarla bağlanmıştır. Bu sayede 600 kg yük üzerine eklenecek fazladan "g" ivmesini (en fazla 5g ivmenin olacağı öngörülmüştür) sönmüleyebilecektir. Diğer taraftan sistemi korumak için kutu şeklinde yapılar kullanılarak dış ortamdan izolasyon sağlanmıştır. Bataryanın yerleşiminden sonra diğer elektronik elemanlar da batarya üstünde duracak şekilde bir tablaya bağlanıp, tabla da bütünüyle şasi üstündeki kapakları taşıyan kanatlara sabitlenmiştir. Bu şekilde imalatta da modülerlik sağlanmıştır. Burada kurulan sistemin en büyük avantajlarından biri, araç içindeki yüksek gerilim hattının (600 V) en kısa kablo uzunluklarıyla bağlanmasıdır.

Direksiyonlama ve fren hidrolik sisteminin yerleşiminin yapılacağı sağ kutu içindeki hidrolik valfleri, hidrolik güç



Şekil 8. Platform Sistem Görünümü

ünitesini, hidrolik tankı ve 24 V aküleri taşıyacak bir tabla tasarlanmıştır. Bu sayede tek bir tabla üzerinde toplanan elemanlar, araca monte edilirken modülerlik sayesinde kolaylık sağlanmaktadır. Bileşenler, düşük ağırlıkları ve konumları gereği kutunun alt sacına belirli bir uzaklıkta sabitlenerek şasiye bağlanmıştır. Daha sonra platformun tüm hareketlerini kontrol edecek hidrolik sistemin şeması doğrultusunda hat tasarımı yapılmıştır.

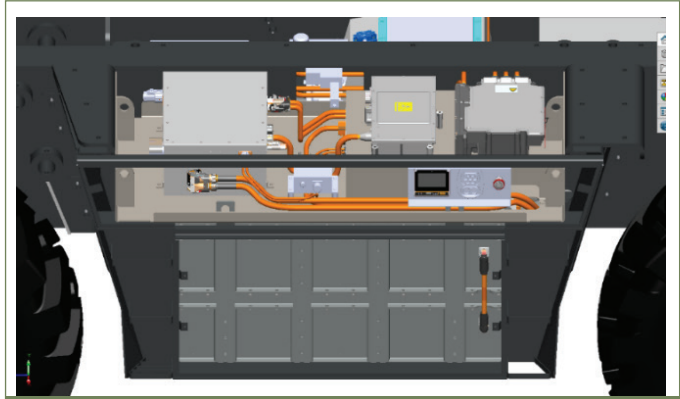
10. PLATFORMA AİT HİDROLİK SİSTEM (FREN VE DİREKSİYONLAMA) TASARIMI VE ÜRETİMİ

Platform hidrolik sistemi, 600 V besleme sisteminden tamamen bağımsız olarak düşünülmüştür. 600 V bataryanın kapanması ya da DC-DC dönüştürücüde çıkacak bir sorunda direksiyonlama ve fren sisteminin çalışmaya devam etmesi için; forklift hidrolik sistemlerinde kullanılan 24 V elektrik tahrikli güç ünitelerinden seçim yapılmıştır.

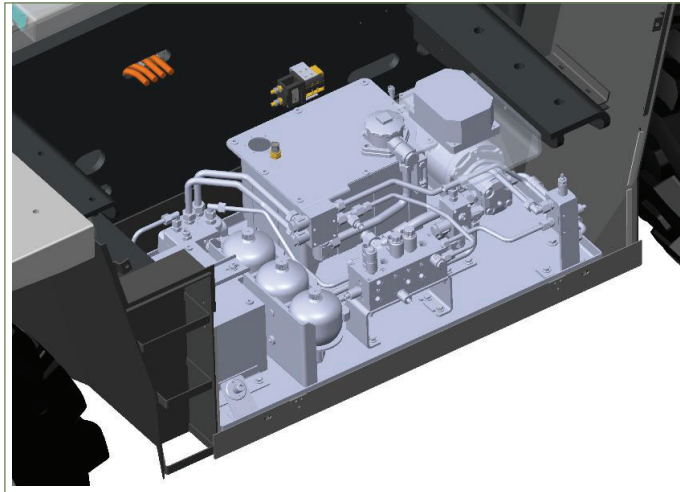
Hidrolik sistem, platformun yan bölmelerinde konumlanacak şekilde motor-pompa ikilisi, hidrolik yağ tankı, valfler ve 24 V akü seti gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Platformdan bağımsız tasarım sayesinde tüm bileşenler sağlandığında, hidrolik bölme içinde tasarlanan tabla üzerine montajı yapılarak, araçtan bağımsız şekilde test edilip çıkabilecek sorunlar giderildikten, optimizasyondan sonra platforma montajı yapılmaktadır.

Seçilen aksların hidrolik direksiyonlama silindirleri nedeniyle 180 bar ve 20 lt/dk olarak şekillenen hidrolik sistem için önce 24 V motor-pompa ikilisi seçilmiştir. Daha sonra

valfler, akümülatörler ve hidrolik tank seçilmiştir. Verimi artırmak ve elektronik kablo karmaşasından kurtulmak için valfler olabildiğince yüksek teknolojiye seçilip CAN-Bus özelliği aranmıştır. Buna rağmen hala PWM kullanan valfler ve analog sinyal gönderen sensörler nedeniyle aracın sağ bölümünde konumlanacak hidrolik sistem için ayrı bir kontrolcü tasarlanması düşünülmüştür. Bu kontrolcü, daha çok kablo karmaşasını ortadan kaldırmak ve sensörlerden gelecek bilgiyi elektriksel gürültüye uğramadan okumak için kullanılmaktadır.



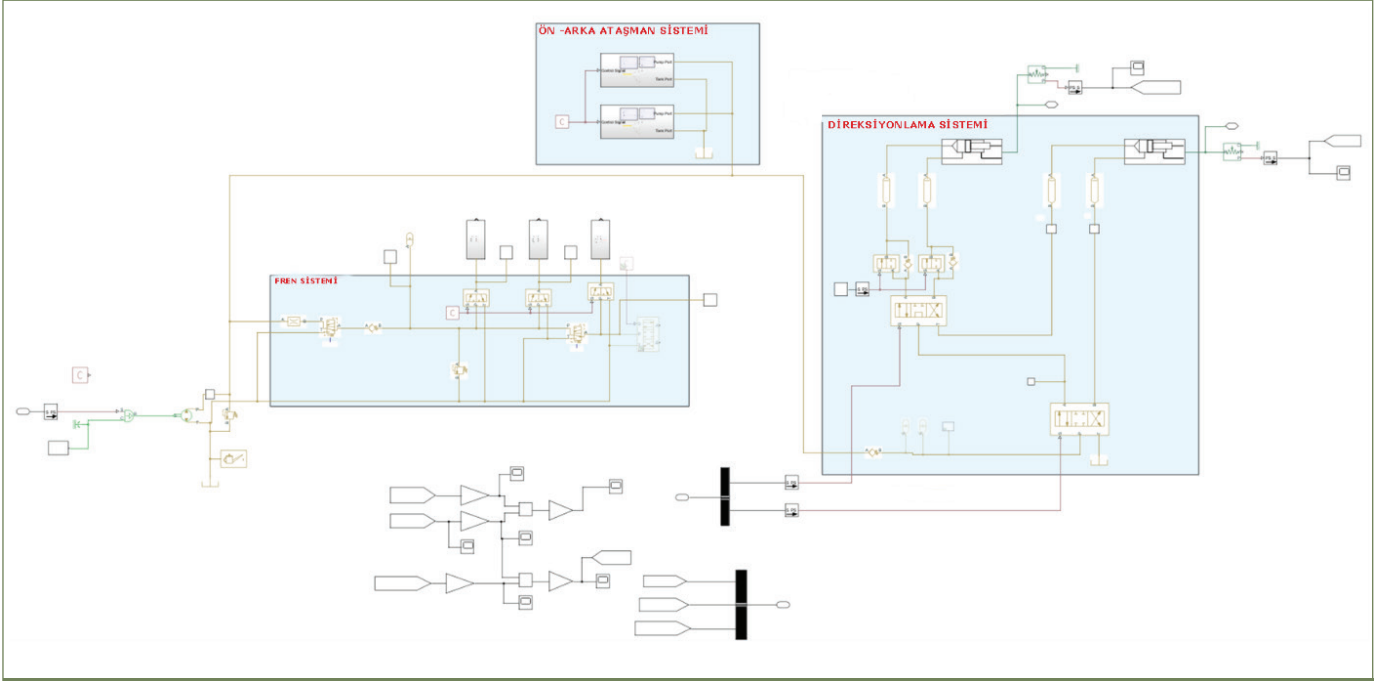
Şekil 9. Elektrik Sistemi Yerleşimi



Şekil 10. Hidrolik Direksiyonlama Sistemi Yerleşimi

11. DONANIMLARI BESLEYECEK HİDROLİK MODÜLÜN TASARIMI

ENOCH'un modüler olmasının en büyük özelliklerinden biri de farklı donanımları kullanabilme yeteneğidir. Bu yüzden hidrolik modül, birçok çeşitli donanıma gereken gücü sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Aracın donanım sisteminin tahrik sisteminden tamamen bağımsız ol-



Şekil 11. ENOCH Fren ve Direksiyonlama Hidrolik Sanal Modeli

ması sayesinde, modül bileşenleri seçilirken ayrı bir sanal model kurulup buradan elde edilen sonuçlara göre hareket edilmiştir. Oluşturulan sanal model hem simülasyon hızını artırıp hem de deneme sayısını artırarak bileşen seçimini hızlandırmıştır.

Piyasadaki farklı yükleyici modelleri incelenerek, bir yükleyicinin performansını belirleyen parametreler (örneğin yükleyici için bom kaldırma süresi, kaldırma kapasitesi, boşaltma süresi) elde edilmiştir. ENOCH'a bu parametreleri ve daha fazlasını sağlayacak şekilde bir modül tasarlanmıştır.

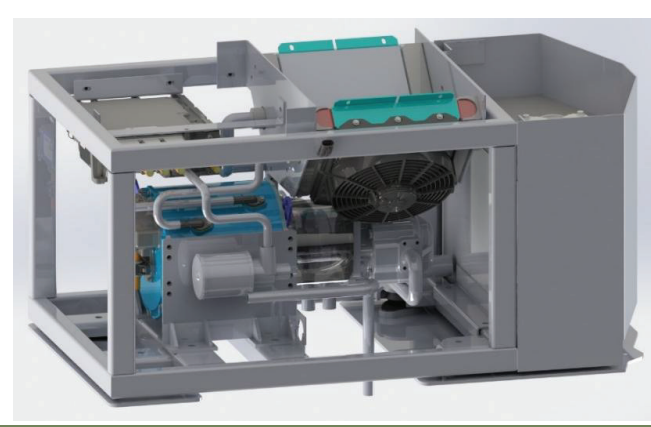
Modül için gerekli güç maksimum 70 kW olarak hesaplanmıştır. Bileşenlerdeki çeşitliliği azaltmak için seçilen motor, tahrik sisteminde de kullanılan HV1200 motorudur.

Motorla beraber çalışabilecek ve gerekli donanım parametrelerini sağlayabilecek pompa seçilmiştir. Pompa için yerli üretim olan Hema QS5 serisi 67,8 cc hacminde döküm gövdeli dişli pompa tercih edilmiştir. Bunun nedeni ise endüstriyel mobil araçlarda daha uzun ömürlü olarak çalışmasıdır. Ayrıca motorun elektrikli olması nedeniyle diğer makinalarda bulunan değişken debili hidrolik sistemi, pistonlu pompa ile değil, dişli pompayla sağlanabilmektedir. Nominal devir sayısına kadar aynı tork değerini

koruyabilen elektrikli motor, hidrolik sistemlerde birçok avantaj sağlamaktadır.

Değişken debi sistemi; verimliliği artırması açısından, motor devri, joystick'lerin ve basınç değerine göre değişiklik gösterecek şekilde algoritma oluşturulmuştur. Elektronik joystick'ler tarafından tetiklenecek valflerin maksimum geçireceği debi hesaplanacak ve buna göre motor devri ayarlanacaktır.

Kurulan sistemin bir diğer avantajı da dişli pompa sistemini, basınca duyarlı değişken debili pistonlu pompa gibi kullanarak sisteme giden akışı kesebilmesidir. Birçok hidrolik sistem, basınç sınırlarına ulaştığında basınç tahliye ("pressure relief") valfi ile fazla akışı tanka gönderir. Bu da sistemde yüksek basınçlı boşa giden akıştır. Ayarlanabilir pistonlu pompa sistemleri ile beraber gelen avantaj ise pompanın basınca duyarlı olarak yağ akışını kesmesidir. Hidrolik gücün formülü olan "P (güç) = p (basınç) x Q (hacimsel debi)" üzerinden yapılan hesapta, tanka dönen akış sabit olsa bile düşük basınçta olması harcanan gücün düşeceği anlamına gelir. Sistem ise bu yöntemi dişli pompayla kurarak, pompa hattından okunan basınç maksimum basıncı geçerse, motor devrini kısacak şekilde oluşturulmuştur. Bu da tanka dönecek yüksek basınçlı debiyi yani güç kaybını neredeyse sıfıra indirecektir.



Şekil 12. Hidrolik Modül Tasarımı

Modülün tasarımı, kapaklar üzerine yerleştirileceğinden, boyut olarak kapak boyutlarını geçmeyecek şekilde yapılmıştır. İçerisine montajı yapılacak soğutucu radyatörler, pompa, motor, yağ tankı, motor sürücüsü gibi bileşenlerin yerleşebileceği şekilde yükseklik belirlenmiştir. Hidrolik modülün son tasarımı yapılırken de profillerden oluşan bir iskelet üzerine yerleştirilerek pompadan çıkacak P (basınç), T (dönüş, tank) hatları modülün altından çıkarak platforma veya donanıma verilecektir. Kendi içinde bağımsız şekilde sıvı soğutma sistemine sahip olduğundan; modülü platforma bağlarken, hidrolik P-T hattı ve elektrik bağlantılarını yapmak yeterli olacaktır.

Hidrolik modül, yükleyici donanımını besleyeceğinden; donanım üzerinde bulunan üç dilimli CAN Bus vananın algoritması da, modül içerisine koyulacak bir kontrolcüde bulunacaktır. Kontrolcü, kumandadan valflerin açılma komutunu alacak, buna göre motorun devrini ve valflerin açıklığını kontrol edecektir. Modül içerisinde bulunan basınç ve sıcaklık sensörleriyle gerekli kontrolleri yaparak, sıvı soğutma sistemini ve donanımda kullanılan yağın soğutmasını da bu kontrolcü üstlenecektir.

12. JENERATÖR MODÜLÜNÜN MEKANİK VE ELEKTRİKSEL TASARIMININ YAPILMASI

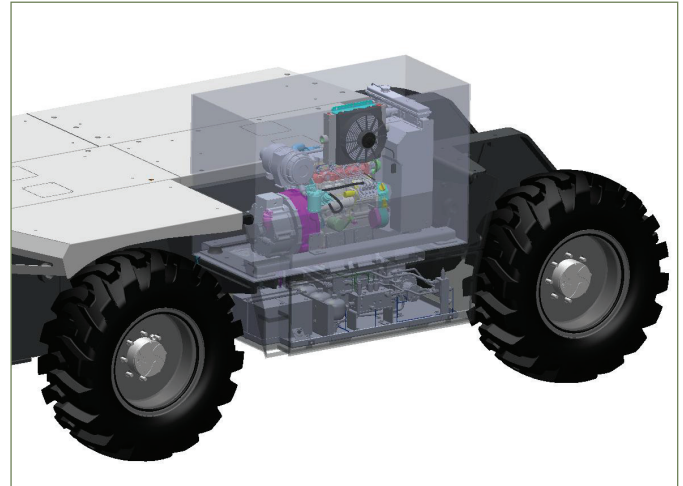
Jeneratör modülü, araçta kullanım süresini uzatmak amacıyla ("range extender") yerleştirilen bir modüldür. Hidrolik sistemin bulunduğu sağ kutuda, şasiden çıkan destekler üzerinde yerleştirilmiştir. Standart jeneratörlerin aksine, araca uygun tasarlanacak jeneratör modülü 650 VDC çıkışa sahiptir. DC çıkışa sahip olması nedeniyle

batarya şarj edilirken hızlı şarj yöntemi kullanılabilir ve ek bir yerleşik şarj birimine ihtiyaç duyulmayacaktır.

Jeneratör motoru olarak 44 kW gücünde dizel motor kullanılmaktadır. Motor şaftına bağlanacak bir alternatör ve inverterle beraber modül, bataryayı ortalama 40 kWh gücünde şarj etmektedir.

Şasi desteklerine bağlanan modül, kendi içinde takozlarla bağlanacağı için dışarıda ek bağlantılar olmayacaktır. Ayrıca modülün kendi içinde elektrik soğutma sistemi olduğundan, jeneratör modülü makinaya bağlandığında, dışarıdan sadece yüksek gerilim ve haberleşme bağlantısı içeren kablunun bağlanması yeterli olacaktır.

Bu sayede, araç üzerindeki güç dağıtım ünitesine tek hat üzerinden güç sağlanacak ve bu şekilde batarya şarj edilebilecektir.



Şekil 13. Jeneratör Modülü Tasarımı

Jeneratör modülünde kullanılacak dizel motorun gücü, aracın orta seviye iş çevriminde çalıştığı varsayılarak belirlenmiştir. Buradaki amaç, ENOCH yüksek güç tüketirken; bataryaya destek olmak ve aynı zamanda güç tüketimi azaldığında, şarj yüzdesini artırarak aracı sonraki performanslı işlere hazır hale getirmektir. Bu yüzden seçilen motor 44 kW gücüyle her iki durumda da kullanılabilir bir motordur. 10 l/sa yakıt tüketimine sahip motor için, jeneratör modülüne yaklaşık 90 litre yakıt tankı takılarak ENOCH'un aralıksız çalışma performansına sahip olması sağlanmaktadır.

Jeneratör Modülünün kontrolü ise araçta kullanılan aynı

kontrolcüden sağlanmaktadır. Modüle ana kontrolcüden CAN üzerinden gönderilen sinyaller dönüştürülerek gaz ayarı sağlanmakta, içerideki soğutma işlemlerini ve modülün güvenliğini ise modül kontrolcüsü sağlamaktadır. Bu sayede Jeneratör Modülü'ne sadece CAN üzerinden bağlanarak kontrol sağlanabilmektedir.

13. PLATFORM VE MODÜLLER İÇİN KONTROL ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Çoklu ortam modellemeleri, tamamlanan platform ve modül sistemlerinin algoritma çalışmaları da birbirinden bağımsız geliştirilebilmektedir. Algoritma geliştirme çalışmalarına önce platformun yürür sistemini kontrol edecek ve kritik öneme sahip olan hidrolik sistemden başlanmıştır.

Araç kontrolcüsünü kodlamak için gerekli algoritmaların yazılı hali çıkarıldıktan sonra modellenmesi yapılmıştır. Yapılan bu algoritma CAN Bus ortamında modellenmediğinden henüz kontrolcüye gömülmeye hazır değildir. Kullanılan bileşenlerin üreticileriyle görüşülüp her bileşenin veri ("database" (.dbc uzantılı)) dosyası alınmıştır. Bu sayede bir bileşenin hem gönderdiği mesajlar hem de aldığı mesajlar kolayca entegre edilebilecektir. Örneğin tahrik inverterinin dbc dosyası incelendiğinde görülen kullanım modu seçeneği, bize motoru jeneratör olarak, tamamen elektrik motoru olarak ya da boşta olmak üzere üç farklı kullanım seçeneği sunmaktadır. Algoritmalar arasında olan; "araca gaz verilmiyorsa, rejeneratif fren yapmaya başla" komutu içeriğinden faydalanılacaktır. Aynı anda bataryanın şarj durumu ve motordan çekilecek akım miktarı da kontrol edilerek, kontrolcü için ilk algoritmanın gerçeğe uygun şekilde kodlanması sağlanacaktır.

14. ARACIN SANAL MODELİNİN HİL YÖNTEMİYLE TESTİNİN VE KONTROL ÜNİTESİ REVİZYONUNUN YAPILMASI

Aracın sanal modeline göre seçilen bileşenler, üretilen şasiye montajlanır. Bundan sonraki aşamalarda sanal model, arazi testlerinde elde edilecek verilerle güncellenir. Bu durum modeli gerçeğe daha da yakınlaştıracaktır. Sanal modellerin neredeyse tek eksiği olan çevre koşullarının verime ve performansa etkisi, testlerden sonra gö-

rülecek ve güncellenen sanal model artık aracın bir kara kutu ("black box") modeli olarak görev yapacaktır. Bunun amacı ise, eğer bir üretici ENOCH için yeni bir ataşman tasarlamak isterse, önce modellemesini yapmalıdır. Daha sonra ENOCH üzerinde önce sanal olarak test edip optimizasyonu yapıldıktan sonra kolayca seri üretime geçilebilecektir.

ENOCH gibi yüksek teknolojili bileşenler içeren bir aracın gereksinimlerini tam olarak karşılayacak bir kontrolcü yapılması gerektiğinden kontrolcü tarafımızdan geliştirilmiş ve üretilmiştir.

15. SONUÇ

"Drive by wire" kontrol sistemine sahip modüler bir platformun geliştirilmesi ve prototipinin yapılması; iş ve tarım makinalarında gereksinim duyulan yeni sistemlerin (otonom uygulamalar, uzaktan erişim ve kontrol, iş ölçümleme, kaza önleme vb.) uygulanmasını son derece kolaylaştıracak, kullanıcıya ve üreticiye yıkıcı bir üstünlük sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. **Janulevicius, A., Pupinis G., Juostas A.** 2018 "MATHEMATICAL DESCRIPTION OF TRACTOR SLIPPAGE WITH VARIABLE TIRE INFLATION PRESSURE", ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, p. 406.
2. 2016, "Modeling a Hydraulic Actuation System", <https://www.mathworks.com/videos/modeling-a-hydraulic-actuation-system-68833.html>, 10.01.2022
3. **Filla, R.** 2008, "Alternative system solutions for wheel loaders and other construction equipment", 1st International CTI Forum Alternative and Hybrid Drive Trains, Berlin, Germany, p. 6-9.
4. **Fischer, H., Fischer, M.** 2013 "Voltage Classes for Electric Mobility", Centre of Excellence Electric Mobility, p. 14-18.
5. **Janulevicius, A., Pupinis G., Juostas, A.** 2018 "MATHEMATICAL DESCRIPTION OF TRACTOR SLIPPAGE WITH VARIABLE TIRE INFLATION PRESSURE", ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, p. 407.