



Konferans Bildirisi

Farklı Tahrik Sistemlerine Sahip Dizel Forkliftlerin Çeki Değerlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması

Orkan BURAN^{1*}, Orkun ÖZENER^{2*}

¹ Tümosan Motor ve Traktör A.Ş., Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-3384-283X>,
orkan.buran@tumosan.com.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Otomotiv Ana Bilim Dalı, İstanbul, Orcid ID:
<https://orcid.org/0000-0001-9168-5161>, oozener@yildiz.edu.tr,

* Sorumlu Yazar: orkan.buran@tumosan.com.tr; +90507 713 94 94

(First received October 12, 2023 and in final form December 24, 2023)

3rd International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2023)
December 13 - 15, 2023

Reference: Buran, O., Özener, O. Farklı Tahrik Sistemlerine Sahip Dizel Forkliftlerin Çeki Değerlerinin Hesaplanması ve Karşılaştırılması. Orclever Proceedings of Research and Development,3(1), 511-525.

Özet

Forkliftlerin kullanım alanları ve amaçları düşünüldüğünde ve aynı zamanda operatörlerin de istekleri göz önüne alındığında bir forkliftten beklenen isteklerin en başında performans beklentisi gelmektedir, operatörler forkliftlerinden doğrudan “hızlı” ve “atik” bir performansa sahip olmalarını beklemektedirler. Bu beklentiler doğrultusunda forkliftler incelendiğinde performansı doğrudan etkileyecek alt sistemin motor ve tahrik sistemi olduğu gözükmemektedir. Forkliftlerin alt sistemleri genelde forkliftlere özel hesaplanan, tasarlanan ve üretimi yapılan sistemler değildir, forklift üreticileri bu alt sistemleri raf ürünleri arasından seçmekte ve kullanmaktadırlar. Bu minvalde düşünüldüğünde optimum bir raf ürünü alt sistemin seçilmesi kritik önem arz etmektedir. Bu çalışmada da motor hariç iki farklı markaya, tasarıma, orana ve verime sahip transmisyon, tork dönüştürücü, diferansiyel ve hız azaltıcı alt sistemlerinin performans açısından mukayeseleri irdelenecektir.

Anahtar: Forklift, Çeki Diyagramı,



Calculation and Comparison of Tractive Effort of Diesel Forklifts with Different Drive Systems

Abstract

When the usage areas and purposes of forklifts are considered and the demands of the operators are also taken into consideration, performance expectations are at the top of the list of demands expected from a forklift, operators expect their forklifts to have a direct "fast" and "agile" performance. When forklifts are examined in line with these expectations, it is seen that the subsystem that will directly affect performance is the engine and drive system. The subsystems of forklifts are generally not systems that are calculated, designed and manufactured specifically for forklifts; forklift manufacturers select and use these subsystems among their shelf products. In this respect, it is critical to select an optimum rack product subsystem. In this study, the performance comparisons of transmission, torque converter, differential and speed reducer subsystems with two different brands, designs, ratios and efficiencies, excluding the engine, will be examined.

Keywords: Forklift, Tractive Effort

1. Giriş

Günümüzde forkliftlerde performansı etkileyen parametrelerin başında motor ve tahrik sistemleri gelmektedir. Forklift üreticileri için oldukça kritik öneme sahip olan ve satış adeti kısıtları ile maliyet/fayda gibi sebeplerinden dolayı genellikle raf ürünü olarak hazır bir şekilde temin edilen bu tahrik sistemlerinin optimum olarak belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir.

Şekil 1’de Tümosan Dizel Motora sahip, farklı tahrik sistemleri uygulanacak olan (Transmisyon, Tork Dönüştürücü, Diferansiyel ve Hız Azaltıcı) Tümosan 3,5 Ton Dizel Forkliftin genel görünümü bulunmaktadır. Bu çalışmada aynı Tümosan motora sahip ama farklı tahrik sistemlerini içeren Tümosan marka 3,5 Ton Dizel Forkliftin Performans değerleri irdelenecektir.



Şekil 1: Tümosan 3,5 Ton Dizel Forkliftin Genel Görünümü [1].

2. Materyal ve Yöntem

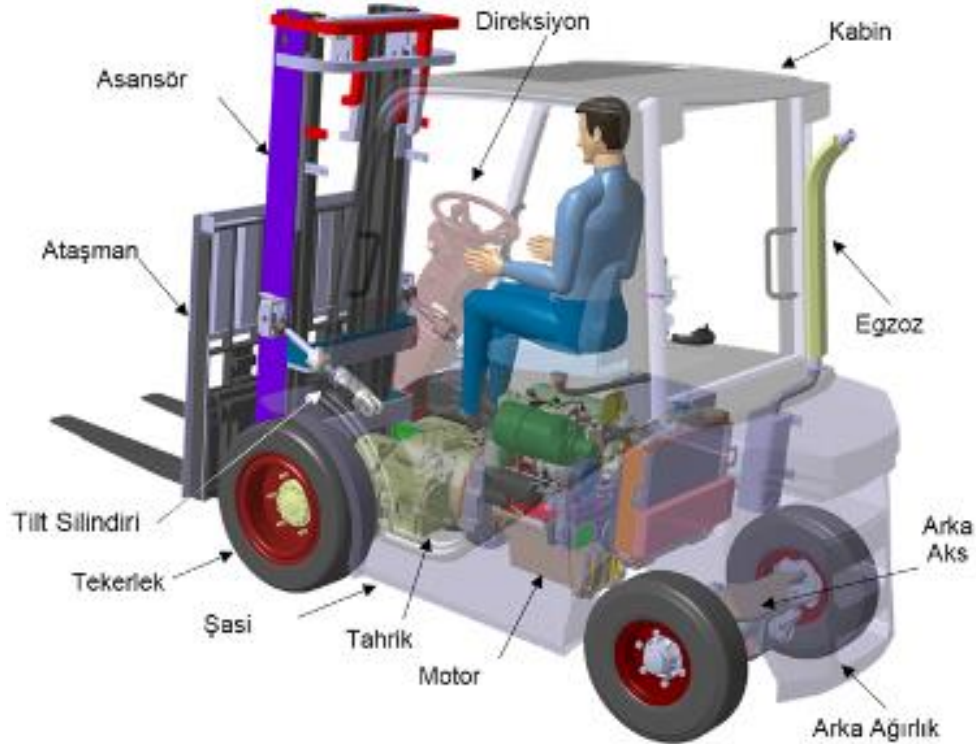
2.1. Forklift Temel Özellikleri

Bu çalışmada Tümosan marka 3,5 ton yük kaldırma kapasitesine sahip dizel forklift kullanılacaktır. Bu forkliftin, tahrik sistemi farklılıklarından bağımsız olarak ortak özellikleri aşağıdaki Tablo1’de yer aldığı gibidir.

Tablo 1: Forkliftin Temel Özellikleri

No	Tanım		Birim	Değer
1	Araç Ağırlığı	Yüklü	kg	8584
2		Yüksüz	kg	5084
3	Motor Modeli		-	3DN-29T-048C
4	Azami Güç		kW	36 @ 2400
5			HP	48 @ 2400
6	Etkin Teker Yarıçapı	Yüklü	mm	318
7		Yüksüz	mm	346
8	Projeksiyon Alanı		m ²	2,7
9	Aerodinamik Direnç Katsayısı (CD)		-	0,8
10	Yuvarlanma Direnç Katsayısı		-	0,01

Forklifti oluşturan parçalar icra ettikleri görevler düşünüldüğünde temel olarak Şekil 2'de gösterildiği gibi alt sistemlere ayrılır.



Şekil 2: Forklifti Oluşturan Temel Alt Sistemler



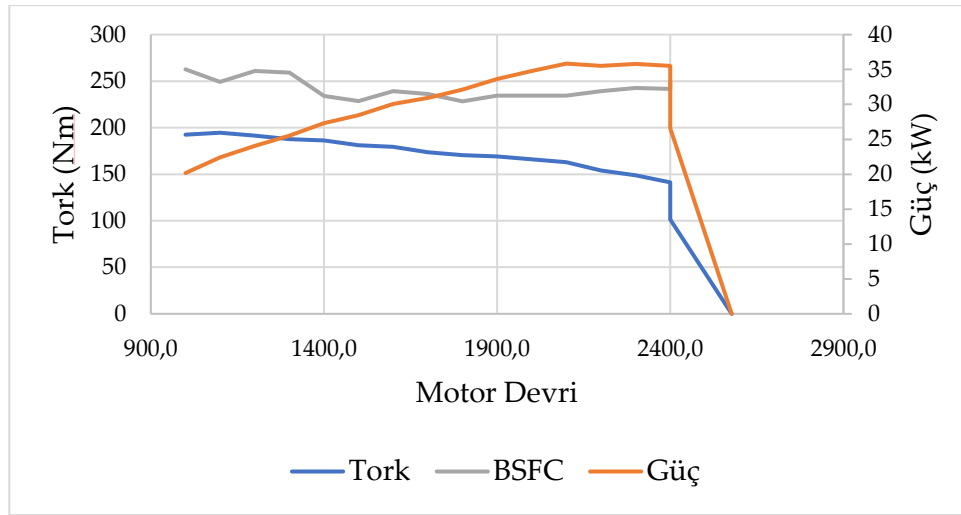
2.2. Dizel Motoru

Bu çalışmanın da konusu olan iki farklı tahrik sisteminden bağımsız olarak, iki forkliftte kullanılan Tümosan marka dizel motorunun özellikleri Tablo 2’de gösterildiği gibidir.

Tablo 2: Dizel Motorunun Özellikleri [2]

Motor Modeli	3DN-29T-048C
Silindir Düzeni	Sıralı
Anma Gücü @ 2300 devir/dk	48 Beygir
Anma Torku @ 1500 devir/dk	170 Nm
Toplam Motor Hacmi	2908 cm ³
Çap x Strok	104 mm x 115 mm
Silindir Sayısı	3
Minimum Özgül Yakıt Tüketimi	160 g/BGh
Aspirasyon	Doğal Emişli
Silindir Başına Valf Sayısı	2
Sıkıştırma Oranı	17:1
Kuru Ağırlık	300 kg
Yaş Ağırlık	325 kg
Sertifikasyon	Stage III A
Yanma Sistemi	Direkt Enjeksiyon
Soğutma Sistemi	Su Soğutmalı

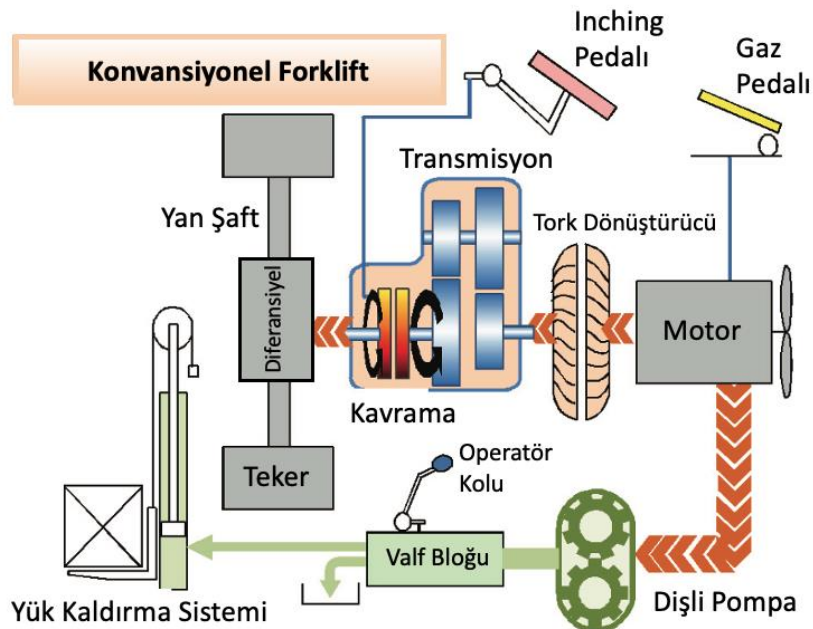
Tümosan marka, 3DN-29T-048C kodlu dizel motorun performans eğrileri de Şekil 3’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3: Motor Performans Eğrileri [2]

2.3. Tahrik Sistemi

Forkliftlerde tahrik sistemi olarak farklı yapısal mimarilere sahip tahrik sistemleri kullanılmaktadır, bu sistemler temel olarak; Mekanik, Hidrodinamik ve Hidrostatik olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmanın konusu olan forkliftin tahrik sistemi; Mekanik Sistemdir, bu sistemin en büyük artılarından birisi; yük taşıma sisteminin hidrolik sisteminde dişli pompa kullanılmasıdır ve sabit kapasiteli tip pompa olduğundan yük taşıma sisteminin çalışmasından bağımsız olarak motor devrine göre sabit yağ miktarı sağlanmaktadır.[3]



Şekil 4: Konvansiyonel Forkliftin Genel Sistem Şeması [3]



Konvansiyonel Mekanik Tahrik Sisteminin çalışma yapısı genel hatlarıyla Şekil 4'te de görüleceği üzere forkliftteki hem hareket için gücü, hem de hidrolik gücünü içten yanmalı bir motor sağlar. Bu motorun hemen arkasına tork dönüştürücülü bir şanzıman bağlanır ve bu şanzımanda da çoğu zaman bir şaft vasıtasıyla veya doğrudan bağlı bir tahrik aksı bulunmaktadır, bu tahrik aksında da güç tekerlekler vasıtasıyla bir itme kuvveti olarak yola aktarılır.

Bu çalışmanın konusu olan farklı iki tahrik sisteminin de çalışma yapısı Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

2.4. Güç Gereksinimi

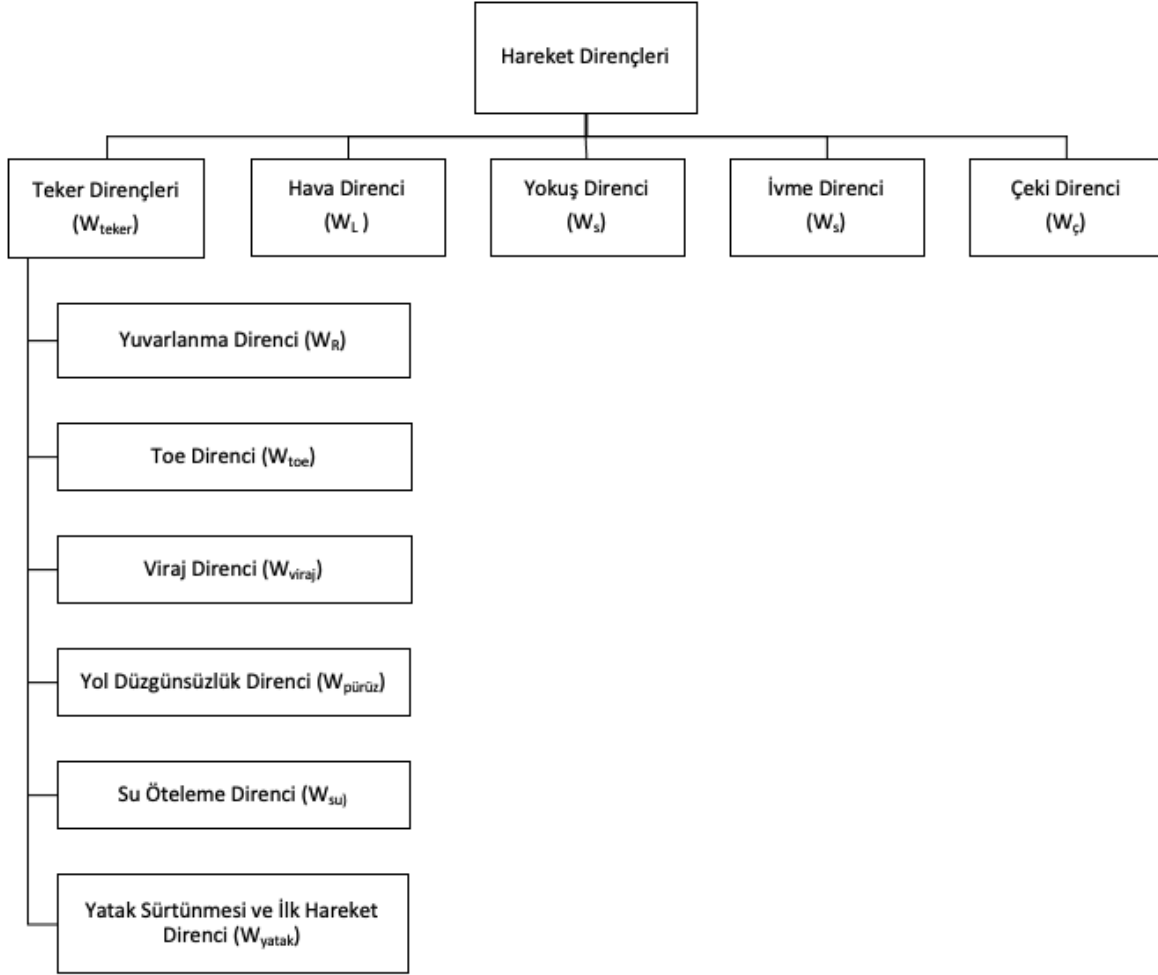
Taşıtın hareket edebilmesi için hareket şartının sağlanması gerekmektedir. Teker ile zemin arasında kaymanın olmadığı durumda Güç Gereksinimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. [4]

$$N_e = \frac{\sum W \cdot V_{\text{taşıt}}}{\mu_m}$$

2.5. Hareket Dirençleri

Taşıt eksenini doğrultusundaki, taşıt hareketine ters yönde etki eden kuvvetlerin bileşenlerinin toplamına hareket dirençleri adı verilir. [4] Hareket şartının sağlanabilmesi için gerekli olan güç ihtiyacı bu dirençlerden büyük olmalıdır. Bir araç tasarımında araca etki eden dirençlerin gerçeğe olabildiğince yakın olarak hesaplanması aracın yeteneklerinin daha tasarım aşamasındayken doğru konumlandırmak için oldukça önemlidir.

Tablo 3: Bir Taşıta Etki Eden Toplam Hareket Dirençleri [5]



Toplam dirençler aşağıdaki gösterilen eşitlikte gösterildiği gibidir;

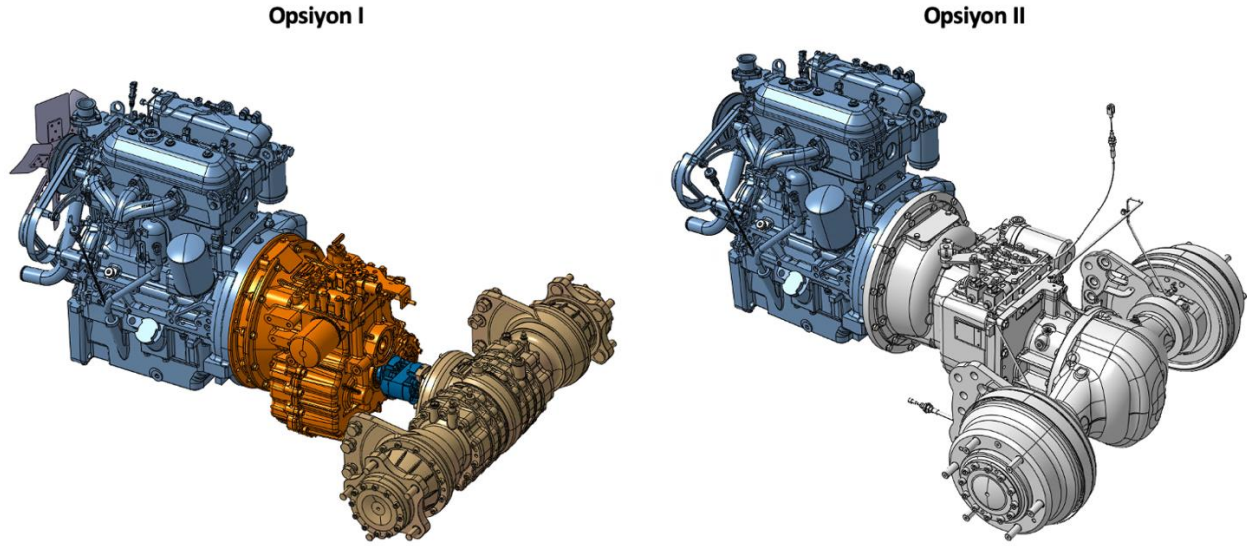
$$\Sigma W = W_R + W_L + W_S + W_B$$

Toplam dirençlerin kapsamlı gösterimi de aşağıdaki eşitlikte gösterildiği gibidir; [5]

$$\Sigma W = f_0 \cdot \left(1 + \frac{\left(\frac{V_T}{3.6} \right)^2}{1500} \right) \cdot G \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot C_D \cdot A \cdot V^2 + G \cdot \sin \alpha + \phi \cdot m \cdot \frac{dV_T}{dt} + W_{\text{ç}}$$

3. Sonuçlar

Bu iki tahrik sistemi içinde hesaplanacak olan değerler; yüklü ağırlıkta eğimsiz yolda (Eğim %0) azami hız ile azami tırmanabilirlikteki azami hız olacaktır.



Şekil 5: İki Farklı Tahrik Sisteminin Genel Görünümleri

Bu iki farklı tahrik sisteminin (Transmisyon, Tork Dönüştürücü, Diferansiyel, Hız Azaltıcı) bilgileri aşağıdaki Tablo 4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4: Tahrik Sistemi Opsiyonlarının Genel Özellikleri

	Opsiyon I	Opsiyon II
Marka	Hyundai	Carraro
Transmisyon Oranı	1,437	2,8
Tork Konvertör	Evet	Evet
Stall Ratio	3,02	2,67
Diferansiyel	2,818	-
Hız Azaltıcı	4,1	-
Tahrik Aksı Toplam Oranı	11,554	5,775
Toplam Dişli Oranı (Tahrik Aksı + Transmisyon)	16,6	16,17

Çeki Performans Eğrisi; Ordinant'ta Newton cinsinden Tahrik Kuvvetini, Apsis'te km/saat birimiyle Araç Hızını göstermektedir. Bütün eğriler birinci bölgede yer almaktadır ve sarı ile gösterilmiş eğri Yüksüz Tahrik Sınırını göstermektedir. Yüksüz Tahrik Sınırı Aşağıda da gösterilen Hareket Şartından elde edilmiştir. [4] Yüklü tahrik Sınırı da hesaplanmıştır ama forkliftin taşıma kapasitesi olan 3,5 ton eklendiğinde bu

sınır oldukça yüksek değerlerde gözükmetedir, bu sebepten dolayı Tahrik Sınırı sonuç grafiklerinde gösterilmemiştir.

$$\mu \cdot G_{\phi,A} \geq \Sigma W$$

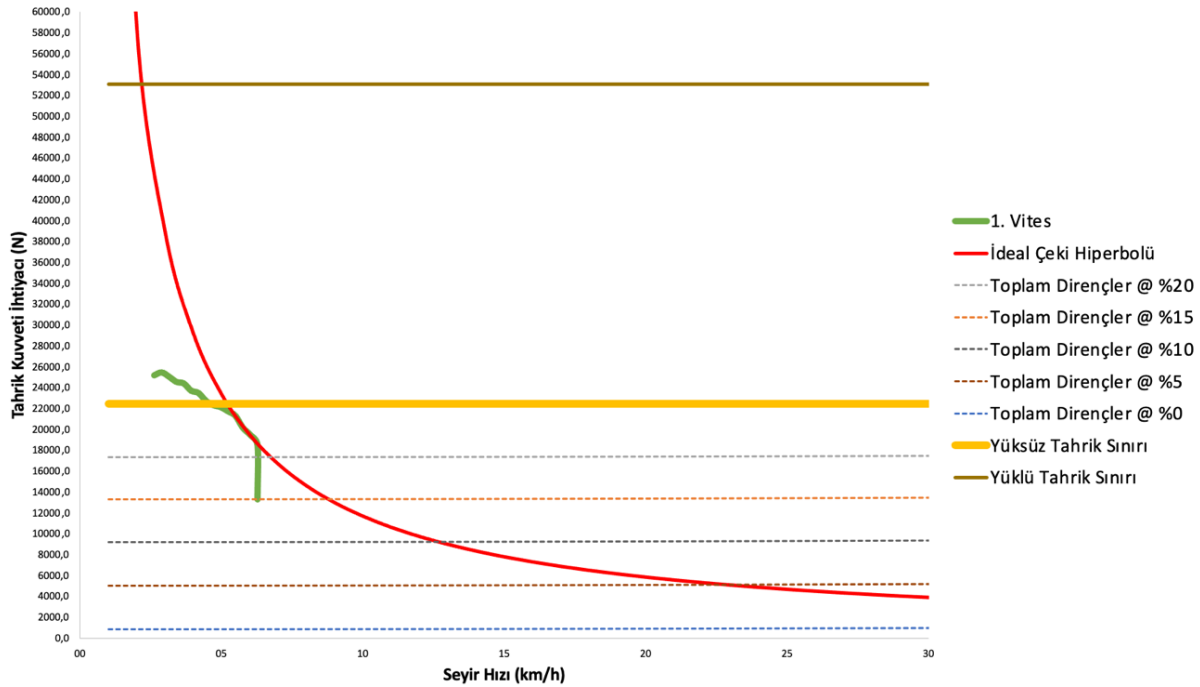
Tablo 4: Tahrik Sınırı Değerleri

Yüklü Tahrik Sınırı	53051,69 N
Yüksüz Tahrik Sınırı	22443,32 N

Şekil 6'da gösterilen grafikte birinci bölgede yer alan ve kırmızı ile gösterilen İdeal Çeki Hiperbolü aşağıda gösterilen eşitlik ile hesaplanmıştır. [6]

$$F_t = P_{max} \cdot \frac{1}{v}$$

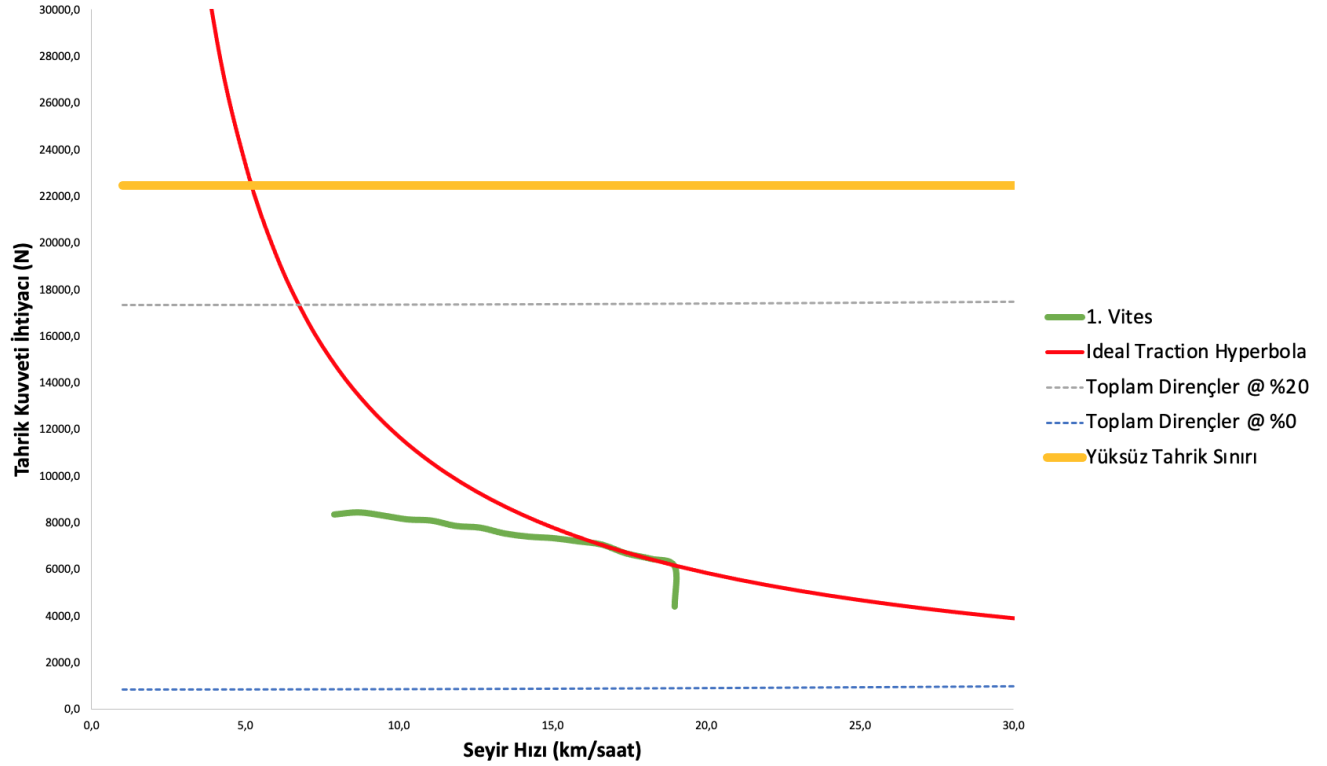
Araca etki eden dirençler hıza bağlı olarak Düz Yol (Eğim yok), %5,%10,%15 ve %20 eğimli yollar olarak yukarıdaki eşitliklerle hesaplandı ve grafikte çizdirildi. Opsiyonların gösterildiği grafiklerde karmaşa yaratmaması adına asgari değer olan Düz Yol şartı ile azami değer olan %20 eğimli yol şartları gösterilecektir.



Şekil 6: Çeki Performans Eğrisinin Genel (Kapsamlı) Görünümü

3.1.Düz Yolda Azami Hız Hesaplama (Opsiyon I için)

Şekil 7’de görüleceği üzere opsiyon I’deki konfigürasyon; yüklü, eğimsiz bir yolda azami 19 km/saat hıza ulaşmaktadır.



Şekil 7: Opsiyon I, Yüklü, Eğimsiz Yol, Maksimum Hız

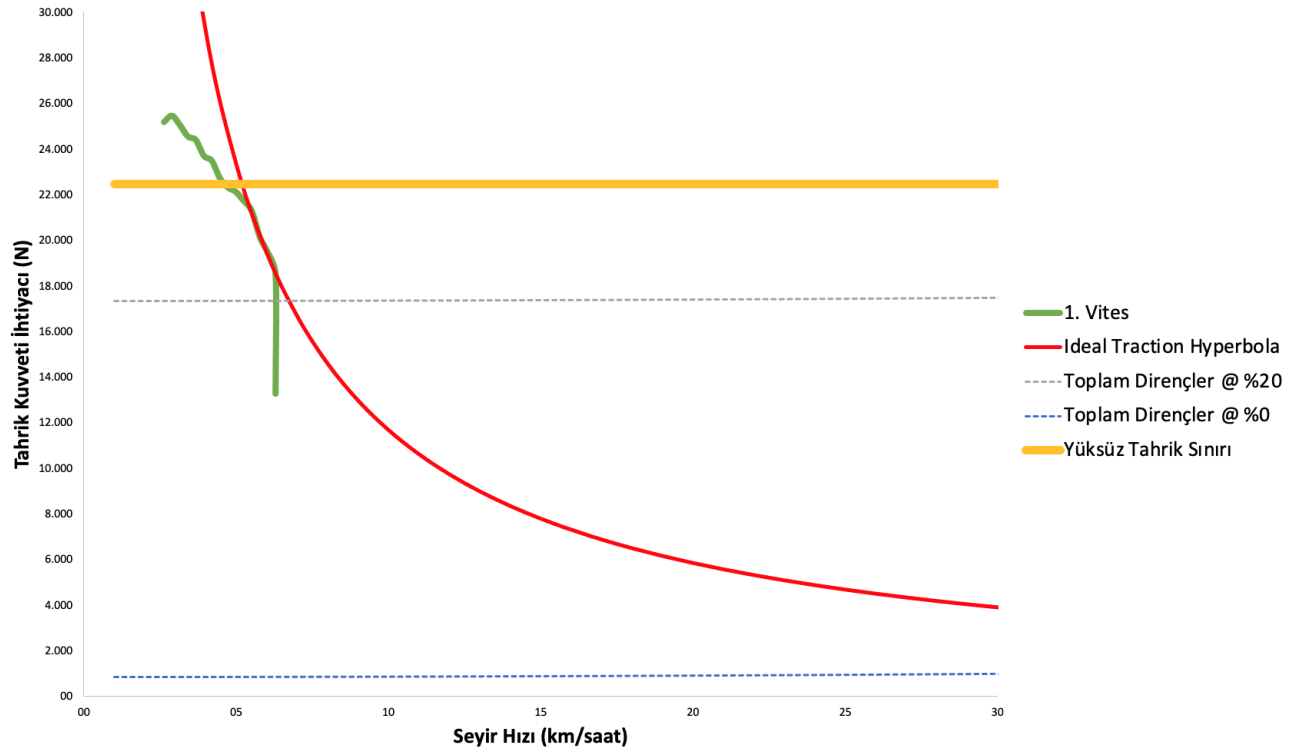
Opsiyon I’deki konfigürasyona sahip forklifte yüklü ağırlık ile düz yolda ulaşacağı azami hızdayken etkiyen toplam kuvvetler, bu kuvvetlerin dağılımları ve güç gereksinimi tablo 6’da gösterilmiştir.

Tablo 6: Opsiyon I, Düz Yolda Araca Etkiyen Dirençler ve Güç Gereksinimi

Direnç Türü	Kuvvet (N)	Yüzde (%)
Yuvarlanma Direnci	858	96
Hava Direnci	38	4
Yokuş Direnci	0	0,0
Toplam Direnç	895	100,0
Güç Gereksinimi	5,25 kW	

3.2.Eğimli Yolda (%20) Azami Hız Hesaplama (Opsiyon I için)

Şekil 8’de görüleceği üzere %20 eğimli yolda yüklü bir forklift azami 6,3 km/saat hıza ulaşmaktadır.



Şekil 8: Opsiyon1, Yüklü, %20 Eğimli Yol, Maksimum Hız

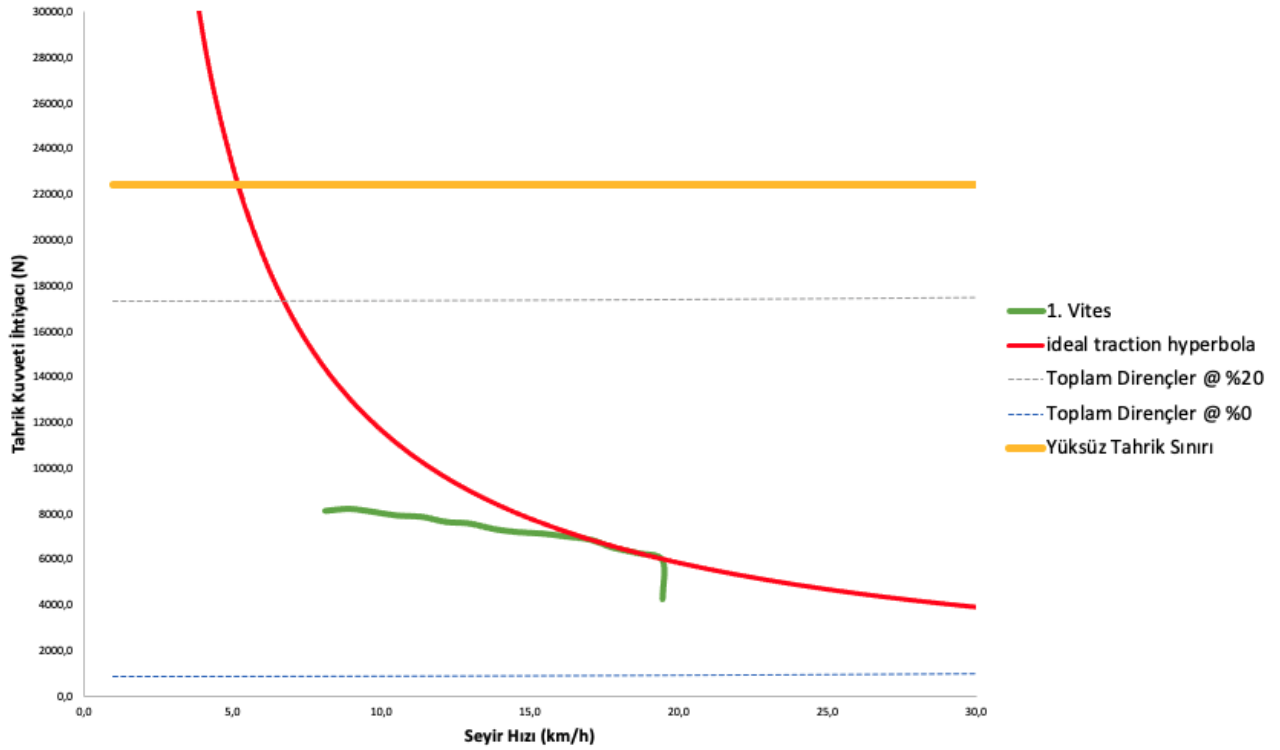
Opsiyon I’deki konfigürasyona sahip forklifte yüklü ağırlık ile %20 eğimli yolda ulaşacağı azami hızdayken etkiyen toplam kuvvetler, bu kuvvetlerin dağılımları ve güç gereksinimi tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7: Opsiyon I, %20 Eğimli Yolda Araca Etkiyen Dirençler ve Güç Gereksinimi

Direnç Türü	Kuvvet (N)	Yüzde (%)
Yuvarlanma Direnci	827	4,77
Hava Direnci	4	0,02
Yokuş Direnci	16515	95,21
Toplam Direnç	17346	100,00
Güç Gereksinimi	34 kW	

3.3.Düz Yolda Azami Hız Hesaplama (Opsiyon II için)

Şekil 9’da görüleceği üzere opsiyon II’deki konfigürasyon yüklü, eğimsiz bir yolda azami 19,5 km/saat hıza ulaşmaktadır.



Şekil 9: Opsiyon2, Yüklü, Eğimsiz Yol, Maksimum Hız

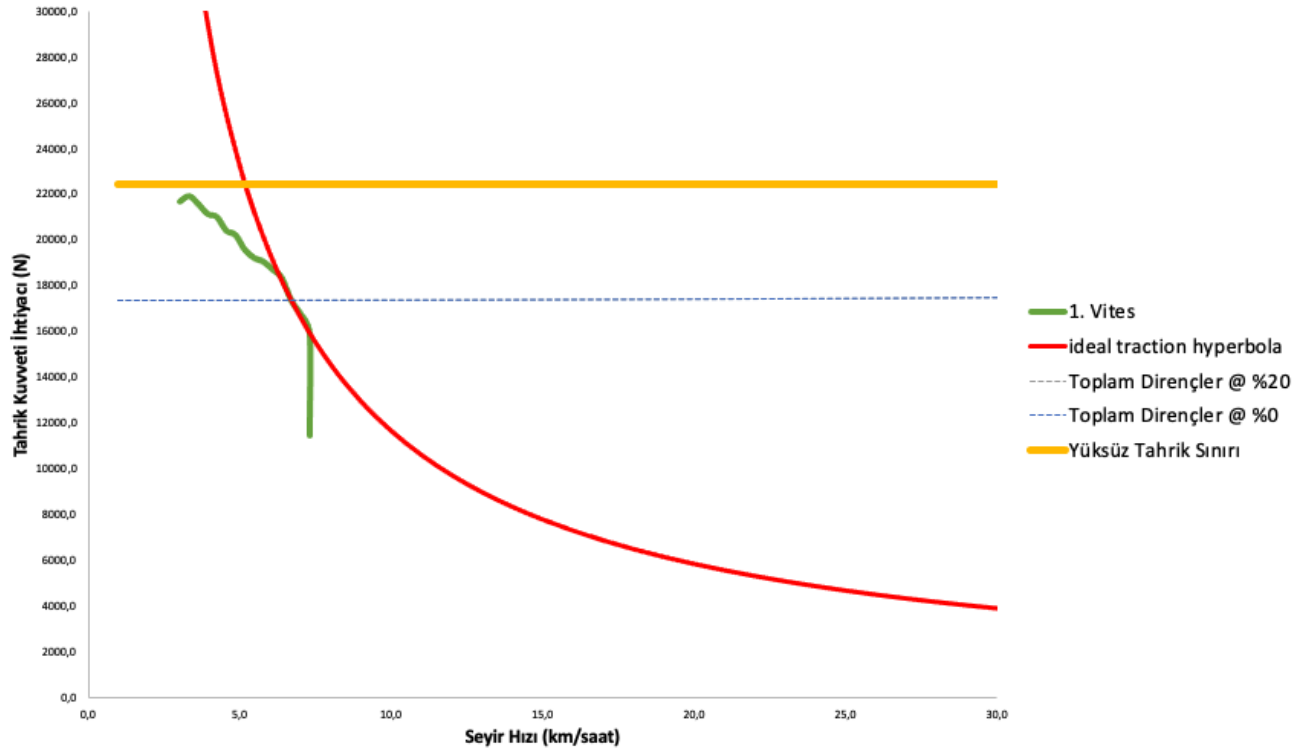
Opsiyon II' deki konfigürasyona sahip forklifte yüklü ağırlık ile eğimsiz bir yolda ulaşacağı azami hızdayken etkiyen toplam kuvvetler, bu kuvvetlerin dağılımları ve güç gereksinimi tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Opsiyon II, Düz Yolda Araca Etkiyen Dirençler ve Güç Gereksinimi

Direnç Türü	Kuvvet (N)	Yüzde (%)
Yuvarlanma Direnci	859	96
Hava Direnci	40	4
Yokuş Direnci	0	0
Toplam Direnç	898	100
Güç Gereksinimi	5,41 kW	

3.4.Eğimli Yolda (%20) Azami Hız Hesaplama (Opsiyon II için)

Şekil 10'da görüleceği üzere %20 eğimli yolda yüklü bir forklift azami 7,3 km/saat hıza ulaşmaktadır.



Şekil 10: Opsiyon2, Yüklü, %20 Eğimli Yol, Maksimum Hız

Opsiyon II' deki konfigürasyona sahip forklifte yüklü ağırlık ile %20 eğimli bir yolda ulaşacağı azami hızdayken etkiyen toplam kuvvetler, bu kuvvetlerin dağılımları ve güç gereksinimi tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 2: Opsiyon 2, %20 Eğimli Yolda Araca Etkiyen Dirençler ve Güç Gereksinimi

Direnç Türü	Kuvvet (N)	Yüzde (%)
Yuvarlanma Direnci	828	5
Hava Direnci	6	0
Yokuş Direnci	16515	95,1
Toplam Direnç	17348	100
Güç Gereksinimi	39,09	

4. Tartışma

İki farklı tahrik sistemine sahip forklift için gerçekleştirilen çeki performans hesaplamalarının sonuçlarının özeti aşağıdaki gibidir.

	Opsiyon I	Opsiyon II
Düz Yolda Azami Hız	19 Km/Saat	19,5 Km/Saat
Düz Yolda, Azami Hızda Gerekli Motor Gücü	5,25 kW	5,41 kW
%20 Eğimdeki Azami Hız	6,3 Km/Saat	7,3 Km/Saat



%20 Eğitimde, Azami Hızda Gerekli Motor Gücü	33,73 kW	39,09 kW
---	----------	----------

Tasarım aşamasında hangi tahrik sistemleri ile ilerleneceğine karar verebilmek ve performans açısından değerlendirebilmek adına yeterli bir tablo olan bu tabloda, tasarım kısıtlarına göre ve kullanıcı beklentilerine göre karar verilip seçilen alt sistem ile tasarım olgunlaştırılabilir.

Teşekkür

Başta, akademik çalışmalarında beni destekleyen ve cesaretlendiren Sayın Orkun Özener'e. İkinci olarak, yeni ürünler geliştirmede her zaman sırt sırta verdiğimiz, bu çalışmanın diğer birçok evresinde çok fazla emekleri olan Sayın Mustafa Demir ve Sayın Hüseyin Samet Kartal'a ve son olarak, bu ürünleri hayata geçirmemize ve akademik çalışmalar yapmamıza da imkân sağlayan Tümosan Motor ve Traktör Sanayi A.Ş.'nin başta yönetimine ve tüm fertlerine teşekkürlerimi iletirim.

Referanslar

- [1] O. Eryiğit, "Tumosan Forklift" Onur Eryiğit, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.onureryigit.com/portfolio-item/tumosan-forklift/>
- [2] Tümosan Motor ve Traktör A.Ş., "Dizel Motor Kataloğu" [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.tumosan.com.tr/tr/urunler/48hp> [Erişim: 11 Kasım 2023].
- [3] H. Yamamoto, Y. Harada, H. Hiraiwa, "Introduction of Hydrostatic Transmission Forklift Model FH40-1/FH45-1/FH50-1" Komatsu, ABD, No165, 2012
- [4] İ. Yavaşlıoğlu, Motor Vehicles – I, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, 2007, ISBN: 9789754614299
- [5] M. Özkan, Taşıtlarda Yakıt Ekonomisi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2019.
- [6] "Need Gears" X Engineer, [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://x-engineer.org/need-gears/> [Erişim: 11 Kasım 2023].