



Batarya Elektrikli Araçlarda Şanzıman Tipleri Üzerine Derleme

Fatih KARPAT¹, Efe SAVRAN²

¹ B.U.Ü, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, TÜRKİYE, ORCID ID 0000-0001-8474-7328

² B.U.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D. Bursa, TÜRKİYE, ORCID ID 0000-0002-9518-6498

Corresponding Author: Fatih KARPAT, karpat@uludag.edu.tr

Özet

21. yüzyılda, elektrikli araçlara olan ilgi artışı, bulunduğu yüzyılın getirdiği teknolojik ilerlemeler sayesinde elektrikli araçların yerinin kalıcı olmasını kolaylaştırmaktadır. Kalıcılığı sağlanmış elektrikli araçlar sayesinde hem hava kirliliği hem de gürültü kirliliği azalacaktır. İçten yanmalı motorlu araçlara göre fiziksel yönden temel farklılığı motor donanımları ve enerji kaynağı olan bu araçlarda da hareket aktarımının sağlanması ve motorun daha verimli kullanılması için bazı donanımların kullanılması gerekmektedir. Bu donanımlardan bir tanesi de şanzımanlardır. Bu çalışma içerisinde batarya elektrikli araçlarda kullanılan ve yaygınlaşması mümkün olan şanzıman tiplerinin incelenmesi ve birbirleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Bunun için mevcut batarya elektrikli araçlarda sıkça kullanılan sabit aktarım oranlı şanzımana alternatif olabilecek şanzıman tipleri incelenmiştir. İncelemeler sonucunda batarya elektrikli araçlarda şanzıman kullanımının zaruri olmadığı fakat tavsiye edilen şanzıman tiplerinin kullanımında enerji tüketimi açısından ciddi tasarruf sağladığı görülmüştür. Olası şanzıman tipleri arasındaki değerlendirme iki vitesli çift kavramalı şanzıman ve yarı toroidal sürekli değişken şanzımanın sabit aktarım oranlı şanzımana kıyasla enerji tüketim yönünden diğer şanzıman tiplerine göre daha verimli oldukları görülmüştür. Gelecek yıllarda geliştirilecek şanzıman tipleri batarya elektrikli araçların enerji tüketimlerini çok daha ekonomik bir seviyeye çekeceği öngörülmektedir.

Article Info

Review Article

Received: 06/11/2021

Accepted: 18/04/2022

Anahtar Kelimeler

Batarya Elektrikli Araçlar, Şanzıman, DCT, CVT, tek vites, karşılaştırma

Öne Çıkanlar

Batarya elektrikli araçlarda kullanılan şanzıman tipleri ve kıyaslanmaları.

A Review on Gearbox Types in Battery Electric Vehicles

Abstract

In the 21st century, the increase in interest in electric vehicles facilitates the permanent place of electric vehicles thanks to the technological advances brought by the century. Both air pollution and noise pollution will be reduced thanks to electric vehicles whose permanence is strengthened. Compared to the internal combustion engine vehicles, the main physical difference is the engine equipment and energy source. In these vehicles, some equipment must be used in order to ensure the transfer of motion and to use the engine more efficiently. One of these equipment is gearboxes. In this study, it is aimed to examine and compare the gearbox types used in battery electric vehicles and which can be widespread. For this, gearbox types that can be an alternative to the fixed ratio transmission, which is frequently used in current battery electric vehicles, are examined. As a result of the examinations, it has been seen that the use of gearbox in battery electric vehicles is not essential, but the use of recommended gearbox types provides significant savings in terms of energy consumption. Evaluation among possible transmission types, it has been seen that two-speed dual-clutch transmission and semi-toroidal continuously variable transmission are more efficient in terms of energy consumption compared to the fixed transmission ratio gearbox. It is predicted that the gearbox types to be developed in the coming years will reduce the energy consumption of battery electric vehicles to a much more economical level.

Keywords

Battery Electric Vehicles, Gearbox, DCT, CVT, single speed, comparison

Highlights

Gearbox types and comparisons used in battery electric vehicles.

1. Giriş

1835 yılında Hollanda’ da geliştirilmesinden (Kerem, 2014; Sayın ve Yüksel, 2011; Ünlü ve diğerleri, 2003) bugüne kadar geçen süre içinde 1960 -70’li yıllarda (Kerem, 2014) ve bulunduğumuz günlerde ilgi grafiği yeniden yükselişe geçen elektrikli araçlar, hava kirliliğini azaltmanın yanı sıra göreceli olarak sessiz çalışması ile de gürültü kirliliğini azaltma yolunda kullanılabilecek en etkili araçlardan bir tanesidir. 21. yüzyılda elektrikli araçlara olan ilgi artışı, bulunduğu yüzyılım getirdiği teknolojik ilerlemeler sayesinde elektrikli araçların yerinin kalıcı olmasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra devletlerin politikaları gereği elektrikli araç projelerini desteklemeleri veya dünya geneli anlaşmalara göre yaptırımları, hali hazırda var olan ve içten yanmalı motorlu araçlarda üretim tecrübesi kazanmış firmaları farklı bir alanda rekabete sürükleyerek ataletlerini kırmada

ve elektrikli araçların gelişim ivmesini artırmada kolaylık sağlamaktadır. İçten yanmalı motorlu araçlara göre fiziksel yönden temel farklılığı motor donanımları ve enerji kaynağı olan bu araçlarda da hareket aktarımı ve motorun daha verimli kullanılması için bazı donanımların kullanılması gerekmektedir. Bu donanımlardan bir tanesi de şanzımanlardır.

1769 yılında Cugnot' un buharlı aracında doğrultucu aktarım kullanımından (Lechner ve Harald, 1999) bu yana araçlarda motor gücü, dairesel hareket yapan aks millerine yine dairesel hareket yapan elemanlara sahip bir şanzıman vasıtası ile aktarılmaktadır. Otomobiller açısından düşünüldüğünde şanzıman, bünyesinde bulundurduğu elemanlar vasıtasıyla tork aktarımı gerçekleştiren ve tahrik motoru ile tekerlekler arasında köprü olma görevini üstlenen bir aktarma organıdır. Şanzımanlar, motor gücünü tekerleğe aktarırken aynı zamanda tork ve hız ayarlaması da yapabilmektedir (Carlos Daniel Pires, 2018).

Her ne kadar elektrikli araçlarda şanzıman kullanılmadığı yönünde genel bir kanı var olmasına rağmen genel düşünülenin aksine elektrikli araçların büyük çoğunluğunda en az bir adet aktarım sağlayan şanzıman bulunmaktadır. Araçtaki şanzımanın sayısı, eleman yerleşim metoduna göre değişkenlik göstermekle birlikte her tekerlek için bağımsız yerleşim yapıldığında dörde kadar çıkabilmektedir.

Elektrikli araçlarda şanzıman kullanımı zorunluluğuna bakıldığında ortaya çıkan durumda elektrik motorunun tork bölgelerine ve verimliliğine dikkat edilmesi gerektiği görülmektedir. Elektrik motorlarının da aynı fosil yakıtlı motorlar gibi verim bölgeleri vardır ve motorun çalışma noktası yüksek verimli bölgelerde tutulduğunda enerji tüketim verimliliği artmakta, motor boyutları küçülebilmekte ve bataryadan çekilen enerji miktarı azalmaktadır. Büyük kapasiteye sahip bataryalı araçlarda batarya, hem toplam maliyetin hem de ağırlığın çoğunluğu oluşturduğundan (Yang, Ruan, Yang ve Zhang, 2020) dolayı şanzıman, maliyet artırıcı bir eleman olmasına rağmen daha küçük batarya kullanılmasını sağladığı için hem genel araç maliyeti azalmakta hem de ortaya daha hafif bir araç yapısı çıkmaktadır. Burada her şanzıman modelinin aynı oranda ekonomik fayda sağlamasının mümkün olmadığı da unutulmamalıdır.

Köklü değişikliklere gidilen otomotiv dünyasında şanzımanlar da bu değişime ayak uydurmak zorunda kalmıştır. İçten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan standart tipte diyebileceğimiz şanzımanlardan ziyade söz konusu elektrikli araçlardaki motorun yüksek randımanla çalışabilmesi için farklı seçeneklerin kullanılması gerekmektedir (Hexagon, 2021). Diğer yandan farklı şanzıman tipleri geliştirilirken daha uygun aktarım oranların elde edilebilmesi için daha fazla dişli setleri ve daha fazla kavrama kullanımı söz konusu olmaktadır ve böylesi bir senaryoda sistem karmaşası ile karşı karşıya kalınmaktadır (Li, Zhou, Wang ve Liang, 2019).

Bu çalışma içerisinde batarya elektrikli araçlarda kullanılan ve yaygınlaşması mümkün olan şanzıman tiplerinin incelenmesi ve birbirleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

Tablo 1. Şanzıman tiplerinin özelliklerini gösteren tablo

Şanzıman Türü	Özellik
Sabit Aktarım Oranlı Şanzıman	+ Uygun maliyet + Sarsıntısız aktarım + Keyifli sürüş deneyimi + Yapısal basitlik - Sabit aktarım oranı
İki Vitesli Çift Kavramalı Şanzıman	+ Sarsıntısız aktarım + Keyifli sürüş deneyimi + Ara eleman ihtiyacı olmaması + İvmelenme ve hız artışı - Göreceli yüksek maliyet
Sürekli Değişken Şanzıman	+ Sarsıntısız aktarım + Sonsuz aktarım oranı seçeneği + Göreceli düşük bakım gereksinimi + Menzil artışı - Göreceli düşük verim
İki Vitesli Planet Sistem	+ Kompakt yapı + Sarsıntısız aktarım + Keyifli sürüş deneyimi + Göreceli farklı tasarım - Göreceli yüksek maliyet
İki Vitesli Hidrolik Fren Diskli Planet Sistem	+ İvmelenme ve hız artışı + Keyifli sürüş deneyimi + Göreceli farklı tasarım - Göreceli yüksek maliyet
Çift Girişli Şanzıman	+ İki motor desteği + Motor seçim varyasyonu - Ara elemana ihtiyaç olması - Göreceli yüksek kayıp - Göreceli yüksek maliyet
Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman	+ Sarsıntısız aktarım + Göreceli yüksek verim - Ara elemana ihtiyaç olması - Göreceli yüksek bakım gereksinimi

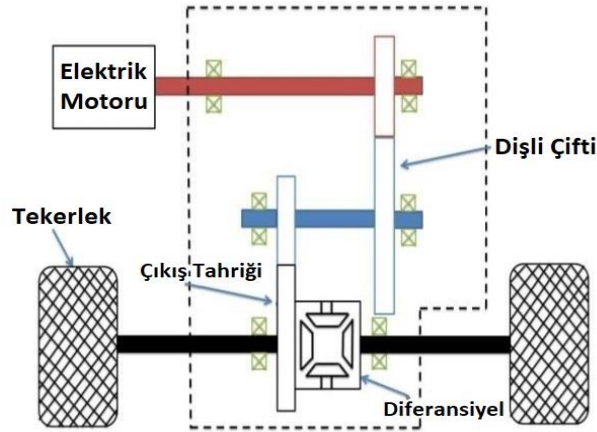
Tablo 1 içerisindeki + işaretli özellikler ilgili şanzımanın üstün yönünü, - işaretli özellikler ise sakıncalarını göstermektedir.

2. Şanzıman Tipleri

2.1 Sabit Oranlı Aktarım

Sabit oranlı aktarım, aktarım oranı konusunda araca ve sürücüye seçenek sunmayan, bir veya birden fazla kademeli (eşleşmiş dişli çifti) olan, tek vitesli bir şanzıman türüdür. Bu şanzımanlar “Redüktör” olarak isimlendirilir ve maliyet bakımından ucuzluğu keyifli bir sürüş sağlamaktadır (Ruan, Walker ve Zhang, 2016). Yapısal basitliği ve elektrik motorlarının içten yanmalı motorlarla kıyaslandığında verim üstünlüğü sayesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır (Carlos Daniel Pires, 2018). **Şekil 1’de sabit oranlı aktarım örneği görülmektedir.**

Düşük maliyetli olması ve bu sayede hem üretici firmaları hem de tüketiciyi sevindirmesinin yanı sıra sabit oranlı aktarımlarda sürüş modu (ekonomik, performanslı vb.) seçimi yapılamamaktadır. Motor, belirli bir devir sayısının üstüne çıktığında sabit gücü verebilmek için tork ile devir sayısının ters orantılı ilişkisinden dolayı yüksek devirde düşük tork ile düşük devirde yüksek tork seçenekleri arasında çalışmak zorunda kalmaktadır ve bu durum verimsizliğe neden olmaktadır (Ruan ve diğerleri, 2016). Sabit aktarım oranlı sistemlerde motor, araç performansını karşılayabilmek için sıklıkla büyük boyutlu olmaktadır ve nadiren verimli bölgede çalışmaktadır. Bu durum ağır araçlar için problem teşkil etmektedir (Beaudoin ve Boulet, 2021).



Şekil 1. Sabit Oranlı Aktarım Görseli (Ruan, Walker, Zhang ve Wu, 2017; Ruan ve diğerleri, 2016; Ruan, Walker ve Zhang, 2018)

Sistemin kullanımında doğrudan tahrik elde edilebilmesi, yumuşak sürüş sağlaması, karmaşık dişli sistemine ihtiyaç duyulmaması, göreceli olarak daha az yer kaplaması sağlayabildiği avantajları iken sabit aktarım oranına sahip olması gösterilebilecek dezavantajıdır (Joshi ve Ugale, 2020).

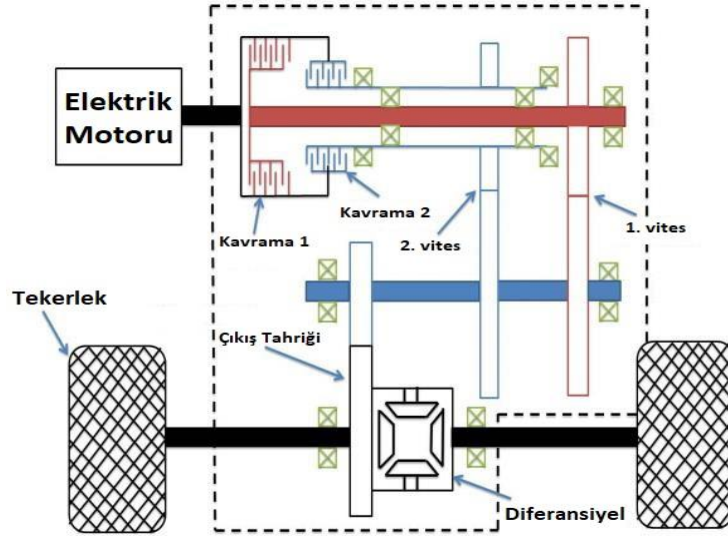
Tek vitesli şanzımana kıyasla çok vitesli şanzımanlar kavrama, dişli, yatak gibi ek komponentlere sahip olmalarından dolayı aktarım verimlilikleri kaçınılmaz bir şekilde tek vitesli şanzımandan daha düşüktür (Kwon, Jo ve Min, 2021). Bu değerlendirmeyi sayısallaştırmak gerekirse, tek vitesli şanzıman % 93 orana sahipken iki vitesli sistem % 86, üç vitesli sistem % 83, dört vitesli sistem % 80 şeklinde oranlara sahiptirler. Ayrıca tek vitesten iki vitese geçişte kayıplar % 4-5 oranda arttığı ifade edilirken ikiden sonra eklenen her viteste kayıpların % 1-2 arttığı belirtilmektedir (Ruan, Walker ve Zhang, 2018). Elektrik bataryalarının enerji yoğunluğunun fosil yakıtlarinkinden çok daha az olmasından dolayı elektrikli araç menzilin artırılması için tahrik hattındaki bu kayıpların minimize edilmesi gereklidir (Rahimi Mousavi, Pakniyat, Wang ve Boulet, 2015).

Konstrüktif açıdan bakıldığında aracın çekiş sisteminin tasarımında belirlenen aktarım oranına bağlı olarak şanzımanda kullanılacak kademe sayısı değişkenlik gösterebilmektedir.

2.2 İki Vitesli Çift Kavramalı Şanzıman (2 vitesli DCT)

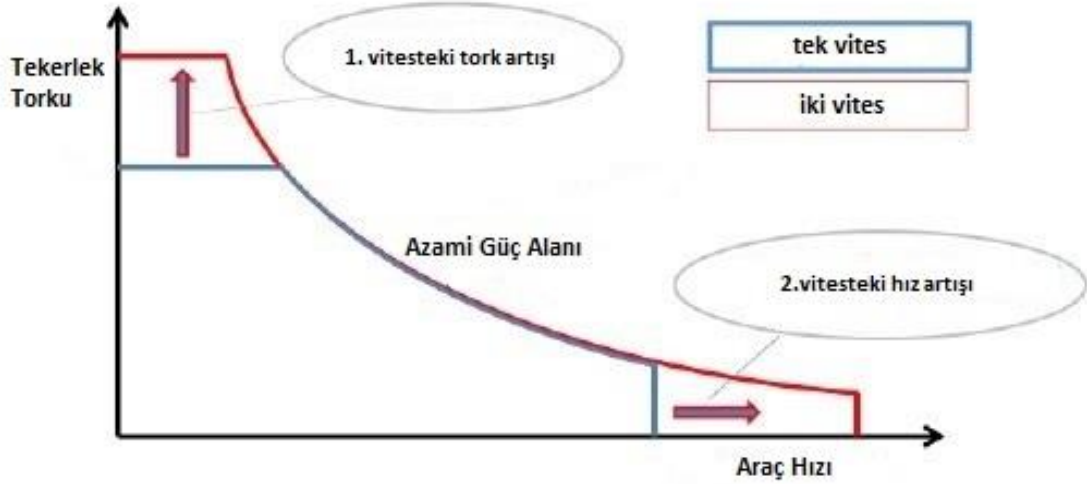
2 vitesli DCT (Dual Clutch Transmission, çift kavramalı şanzıman) çift kavramanın sağladığı konstrüktif avantajdan yararlanılarak her bir kavrama bir vitesle ilişkili halde kullanılmaktadır (Carlos Daniel Pires, 2018; Wang, Lü, Lu, Zhang ve Zhou, 2017). **Şekil 2'de çift kavramalı 2 vitesli sistem örneği görülmektedir.**

Aktarım için çift kavrama kullanımı sayesinde vitesler arası geçiş elemanı olan senkromeç kullanılmaz ve sadece kavramalar arasında geçiş yapılarak vites değişimi sağlanmış olur (Ruan ve diğerleri, 2017). Çift kavrama kullanımının bir avantajı, vites değişimi esnasında anlık tork kesintisinin üstesinden gelinebilmesidir (Carlos Daniel Pires, 2018). Tork kesintisinin ortadan kalkmasıyla vites değişimi esnasında araçta rahatsız edici sarsıntı oluşmayacaktır ve sürücü daha konforlu bir sürüş deneyimine sahip olabilecektir. Mekanik yönden bakıldığında ise anlık sarsıntının ortadan kaldırılmış olması şanzıman ile bağlantılı olan diğer elemanların yorulma ömrü açısından daha uzun süre çalışabilmelerini sağlayacaktır.



Şekil 2. İki vitesli çift kavramalı şanzıman (Ruan ve diğerleri, 2017; Ruan, Walker ve Zhang, 2018)

Şekil 3'deki grafiksel gösterimde görülebilecektir ki bu tip şanzımanda birinci vites oranı ivmelenmeyi ve eğim kabiliyetini artırmayı sağlarken, ikinci vites oranı aracın hız aralığını genişletmek için kullanılmaktadır (Bottiglione, De Pinto, Mantriota ve Sorniotti, 2014; Spanoudakis, Tsourveloudis, Doitsidis ve Karapidakis, 2019).

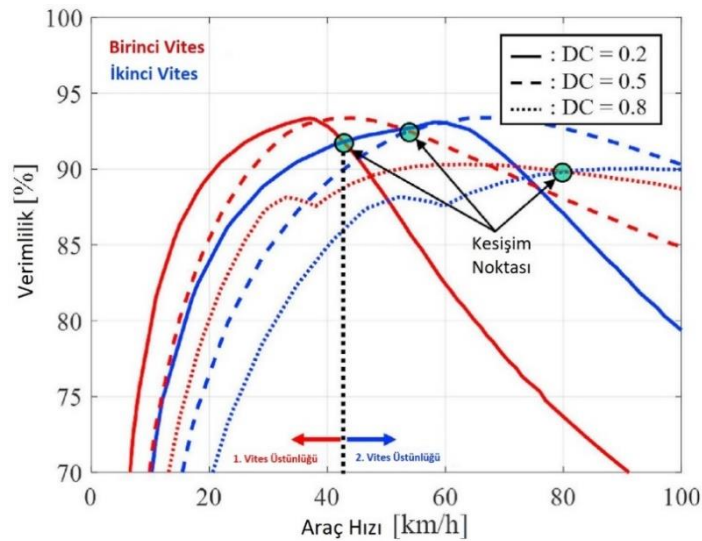


Şekil 3. İki vites ile sabit oranlı aktarım farkı (Joshi ve Ugale, 2020)

Tek vitesli aktarıma göre iki vitesli aktarım ciddi oranda avantajlar sağlıyor iken ikiden fazla sayıda vites kullanımı ile daha büyük avantajlar elde edilebileceği düşünülecektir. Fakat durum bu şekilde değildir. İki vites üzerindeki vites sayılarına çıkıldığında ilave edilecek her bir vites ve kavrama, verimlilik ve genel ağırlık üzerinde olumsuz etki yaratacaktır (Carlos Daniel Pires, 2018; Ruan ve diğerleri, 2016).

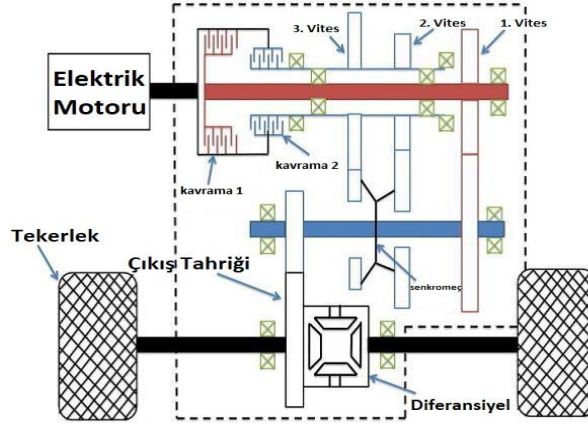
Sabit oranlı aktarım ile vites özellikleri açısından kıyaslandığında, birinci vites tork avantajı, ikinci vites ise hız avantajı sağlamaktadır (Joshi ve Ugale, 2020). Tüketim yönünden kıyaslandığında, sabit oranlı aktarıma göre iki vitesli aktarım enerji tüketiminde %11' lik azalma sağlamaktadır (Schulz, 2004).

Bu sistemde ikinci aktarım oranı birinci aktarım oranının verimliliğinin azalmaya başladığı noktada devreye girmesi yüksek verimlilik bandında kalma süresini uzatmaktadır. Şekil 4'te bu durum görsel olarak da ifade edilmektedir.

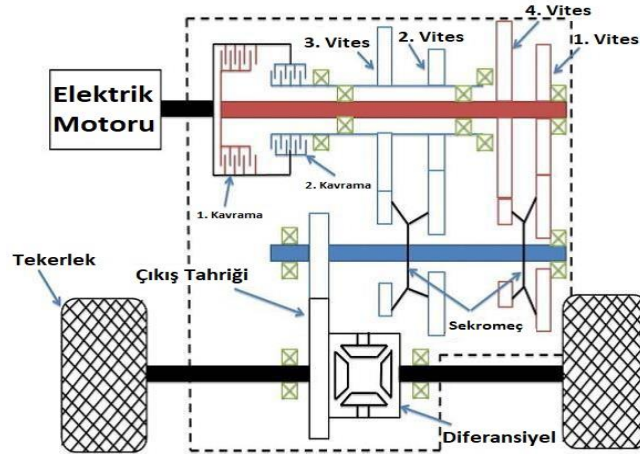


Şekil 4. İki vitesli şanzıman verimlilik grafiği (Kwon ve diğerleri, 2021)

Şekil 5'teki üç vitesli aktarım daha homojen şekilde yayılmış aktarım oranları sayesinde ortalama motor çalışma verimliliğini biraz daha yükseltir ancak iletimdeki artan enerji kaybı nedeniyle iki vitesli sistem kadar verimli değildir (Ruan ve diğerleri, 2017). Diğer yandan Şekil 4 ve 5'te görülecek olan vitesler arası seçimi sağlayan senkromeç gibi ek elemanlar yüzünden ek maliyet artışı da kaçınılmazdır.



Şekil 5. Üç vitesli çift kavramalı şanzıman (Ruan ve diğerleri, 2017; Ruan, Walker ve Zhang, 2018)



Şekil 6. Dört vitesli çift kavramalı şanzıman (Ruan ve diğerleri, 2017; Ruan, Walker ve Zhang, 2018)

Şekil 6'daki gibi vites sayısı dörde çıktığında, en uygun oranın belirlenebilmesi için daha fazla aktarım oranı kullanılarak motor çalışma devir aralığı daraltılabilmektedir fakat motor verimliliğinin artırılmasıyla elde edilen enerji tasarrufu, iletimdeki kayıpla tamamiyle kaybedilmektedir. Maliyet yönünden üç ve dört vitesli şanzımanlar ile donatılmış araçlar, ilave bileşenlerin maliyeti nedeniyle iki vitesliden doğal olarak daha

pahalıdır ve buna ek olarak, üç vitesli çift kavramalı şanzımanın üretim ve kontrol gereksinimi iki vitesli çift kavramalı şanzımandan çok daha fazladır (Ruan ve diğerleri, 2017).

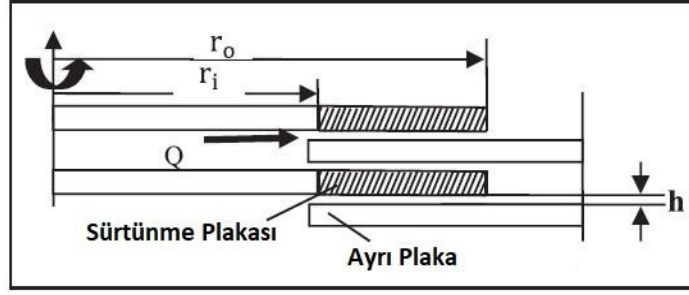
Bu konu ile alakalı yapılan üç adet çalışmada (Ruan, Walker, Wu, Zhang ve Zhang, 2018; Ruan ve diğerleri, 2017; Ruan, Walker ve Zhang, 2018), pil boyutunu büyütmeden enerji verimliliğini ve dinamik performansın iyileştirilmesini sağlamak için çok vitesli güç aktarma organları hedeflenmiş ve araştırılmıştır. Çalışmada şehir sürüşü (FTP-75) ve otoban sürüşü (HWFET) nü içeren hibrit sürüş çevriminde 2 vitesli DCT, tek vitesli sisteme kıyasla B segmenti bir araçta % 16,4, E segmenti bir araçta % 9,6 oranlarında enerji tüketimi iyileştirmesi sağlamıştır. Aynı zamanda B segmenti araçta iki vitesli DCT ve süper kapasitör kombinasyonu kullanımıyla akım dalgalanması da ciddi oranda azaltılmıştır. Üç ve dört vitesli sistemler daha yüksek oranda iyileştirme sunmalarına rağmen maliyet artışı, üretim zorluğu ve kontrolü 2 vitesli DCT kadar etkili olmadıkları görülmüştür. Göreceli fiyat değerlendirmesi tablo 2' de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kıyaslamalı şanzıman fiyat tablosu (Ruan, Walker ve Zhang, 2018)

Tür	1-vites	2-vites	3-vites	4-vites	CVT (6-vites)
1 - vitesle kıyasla artan maliyet (B sınıfı)	0	+	++	+++	++++
		% 62	% 11	% 7	% 16
1 - vitesle kıyasla artan maliyet (E sınıfı)	0	+	++	+++	++++
		% 20	% 10	% 8	% 17

8500 kg'lık ticari aracın ele alındığı deneysel bir çalışmada (Beaudoin ve Boulet, 2021), aktarım oranının 7,5 olduğu tek vitesli şanzımanın kullanımında 700 Nm tepe torklu (peak torque), 200 kW güçlü ve 8000 rpm maksimum devirli bir motor kullanımı gerekliliği ortaya çıkmıştır. Aktarım oranları 12 ve 6 olmak üzere iki vitesli şanzıman kullanıldığında ise aynı güç ve hız limitleri korunarak tepe torkunun 450 Nm'ye indirildiği görülmüştür.

Çift kavramalı şanzıman sistemlerinde kavrama paketi iki adet çok plakalı ıslak kavrama içermektedir. Buradaki iç kavramalar vites ile doğrudan bağlantılı iken dış kavrama ortak muhafazaya bağlıdır. **Sekil 7'de kavrama paketi örneği görülmektedir.** Ayırıcı plaka ve sürtünme plakası aralanması ile oluşturulan kavrama paketinde uygun kavrama seçimi ve tasarımı önemlidir. Eğer kavrama çok küçükse kayma ve aşırı ısınma oluşacaktır. Eğer kavrama çok büyük olursa yüksek ataletle sahip olacaktır ve sürüşe aşırı yüklemeye yapacaktır (Wang ve diğerleri, 2017).



Şekil 7. Islak kavrama sisteminde plaka ar dalanması (Wang ve diğerleri, 2017)

2.3 Sürekli Değişken Şanzıman (CVT)

1490 yılında Leonardo Da Vinci' nin kavramsallaştırdığı (Hegde ve diğerleri, 2017) sürekli değişken şanzıman (CVT), belirlenecek sınırlandırıcı değerler arasında sınırsız sayıda aktarım oranı oluşturabilen ve hareketi pürüzsüz şekilde ileten bir sistemdir. Sistemin yapısı gereği manuel ya da konvansiyonel otomatik şanzımana göre vites değişimi esnasında tork kesintisi olmamaktadır (Hegde ve diğerleri, 2017). Bu bölümde Kayışlı / Zincirli CVT (Continuously Variable Transmission, sürekli değişken şanzıman), CVP (Continuously Variable Planetary, sürekli değişken planet) ve toroidal CVT türleri üzerinde durulacaktır.

2.3.1 Kayışlı / Zincirli CVT

Kayışlı CVT (Continuously Variable Transmission, sürekli değişken şanzıman)' lerde iki değişken çaplı kasnağı ya da iki konik diski birbirine bağlayan bir çelik kayış vardır ve güç, bu bağlantı elemanı ile bağlantı elemanının bağlı olduğu kasnak yüzeyi arasındaki sürtünme yardımıyla iletilir (Carlos Daniel Pires, 2018; Laitinen, 2017). **Şekil 8' de sürekli değişken şanzıman örnek şeması görülmektedir.** Değiştirilebilir çapların yardımıyla aktarım elemanı sonsuz oran ile çalışır ve motoru verimli aralıkta tutabilir (Carlos Daniel Pires, 2018; Ruan ve diğerleri, 2016). Herhangi bir pozisyonda kayma olmaksızın yanal kuvvetler güç aktaracak yeterlikte olduğunda bu şanzıman türünde iyi bir verimlilik elde edilmektedir (Hegde ve diğerleri, 2017).

Zincirli CVT' ler, birbirinden sabit bir mesafede tutulan ve bir zincirle birbirine bağlanan iki değişken çaplı kasnaktan oluşur. Zincir, tork yükleme koşullarına ve eksenel kuvvet uygulama koşullarına bağlı olarak hem radyal hem de teğetsel hareket sergiler. Kayışlı türüne göre zincirli CVT modelinde zincir ile kasnak arasındaki temas kuvveti daha titreşimli bir dağılıma sahiptir (Srivastava ve Haque, 2009a).

CVT' lerin genel karakteristik özellikleri söz konusu olduğunda, hareketin temas ve sürtünme ile iç içe olmasından dolayı CVT' nin verimliliği diğer şanzımanların gerisinde kalmaktadır. Verimliliği azaltan genel kayıplara hidrolik pompa güç kaybı, varyatör tork kaybı, tork konvertörü güç kaybı örnek olarak gösterilebilir. CVT' lerin ilk versiyonlarında giriş gücünde %30' dan fazla kayıp olmasına rağmen elektrikli varyatör kontrolü ve optimize edilmiş kayış basınç kontrol stratejileri sayesinde verim %70' in

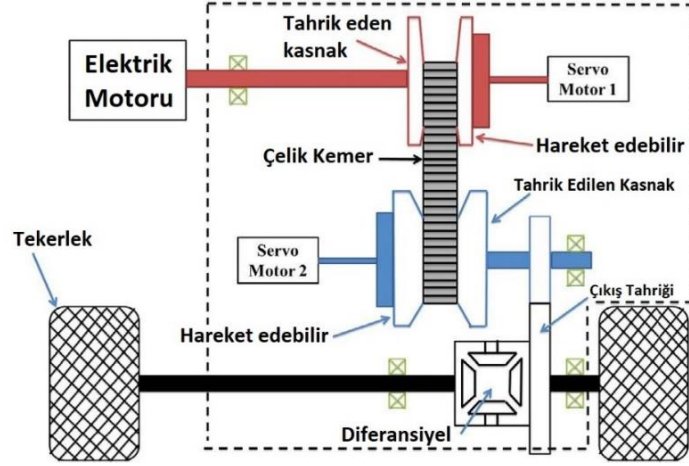
altından % 83 – 89 civarına yükseltilmiştir (Ruan ve diğerleri, 2016). Verim konusu şanzımanın iç yapısındaki duruma göre değişirken kullanıldığı kombinasyona göre de değişkenlik göstermektedir. CVT' ler tork konvertörü kullanılmaksızın içten yanmalı motorlarla kullanıldıklarında % 85, elektrik motorlarıyla kullanıldıklarında % 90 verim elde edilebilmektedir (Han, Shin, Kim ve Oh, 2019; Ruan ve diğerleri, 2016).

Temas ve sürtünmenin hüküm sürdüğü diğer bir durum ise kasnaklardaki esneklik ve boşluk durumudur. Bu durum, tahrik oranını, tork kapasitesini ve kayma davranışını ciddi oranda etkilemektedir (Srivastava ve Haque, 2009b). Boşluğun alınması için tahrik edilen tarafa ön gerilim yayı eklenmektedir. Ön gerilimi artırmak, vites değişiminin daha yüksek hızda yapılmasını sağlarken, ön gerilimi azaltmak daha düşük bir hızda vites değiştirilmesine izin vermektedir. Yetersiz ön yükleme yapıldığında kayma oluşmasına, aşırı ön yükleme ise kayışta aşınmaya sebebiyet vermektedir. (Hegde ve diğerleri, 2017)

Ön yüklemenin uygun bir değere ayarlanması ardından aktarım oranı aralığının seçimi konusu gelmektedir. CVT için mümkün olduğunca geniş aktarım oranı aralığı istenir fakat bu durum maliyet artışına sebep olur. Bu yüzden aktarım oranı aralığı hesaplanırken performans ve maliyet dengelenmelidir. (Ruan, Song ve Yang, 2019)

CVT' yi diğer şanzıman modelleri ile kıyasladığımızda karşımıza her teknolojinin karakteristik olarak avantaj ve dezavantaja sahip olduğu çıkmaktadır. Söz konusu kıyaslama manuel şanzıman ile yapıldığında CVT' nin sınırsız dişli oranı sağladığı fakat manuel şanzımana göre düşük verimliliğe sahip olduğu fark edilmektedir. Diğer yandan manuel şanzıman, sınırlı dişli oranı sağlayıp ve kavrama kayıplarına sahipken CVT' ye göre daha verimlidir (Hofman ve Dai, 2010). Aynı karşılaştırma 2 vitesli DCT ile CVT arasında yapıldığında ise 2 vitesli DCT' ye sahip araçların daha çok maddi ekonomi sağladığı, tork konvertörsüz CVT' ye sahip araçların ise daha iyi sürüş deneyimi sunduğu görülmektedir (Ruan ve diğerleri, 2016).

Hidrojen yakıt hücreli elektrikli araç için 6 farklı güç aktarım yapısında enerji tüketimi ve geri kazanım performansının kıyaslandığı bir çalışmada (Yildiz ve Özel, 2021), CVT kullanımının motorda gereken tepe tokunu azalttığını ve böylece elektrik motorunun boyutlarının küçültülebilmesinin mümkün olduğu belirtilmektedir. Boyut küçültülmesi motorun, motor sürücüsünün ve diğer güç elemanlarının ağırlıksal olarak hafiflemesi anlamına da gelmektedir. Bu şekilde diğer sistemlere göre daha düşük enerji tüketimi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 8. Sürekli değişken şanzıman şematik gösterimi (Ruan ve diğerleri, 2016; Ruan, Walker ve Zhang, 2018)

Yüksek performans elde edilebilmesi için sistem tasarımı yapılan bir çalışmada (Ruan, Zhang ve Walker, 2015), güçlü motor ile kombine edilmiş bir CVT' nin tek vitesli sisteme kıyasla daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer yandan performanstan feragat ederek tüketim açısından ekonomik bir motor ile basitleştirilmiş CVT kombinesinin ekonomik tasarruf sağladığı belirtilmektedir.

Elektrikli araç modelinin motor etkinliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için yapılan bir çalışmada (Ruan ve diğerleri, 2016), iki vitesli çift kavramalı ve tork konvertörsüz CVT kullanıldı. Çalışma sonuçlarında tork konvertörsüz CVT' nin ECE, LA-92 ve HWFET sürüş çevrimlerinde konvertörlü haline kıyasla daha verimli bir çalışma gerçekleştirdiği görüldü. Ayrıca 2 vitesli DCT ve CVT 'nin tek vitesli şanzımana göre daha iyi ekonomik ve dinamik performansa, daha kısa ivmelenme süresine, daha yüksek son sürata sahip oldukları ortaya koyuldu.

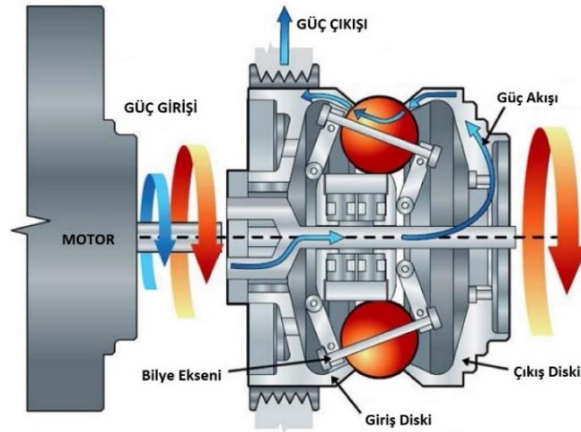
Başka bir çalışmada (Smolenaers ve Ektesabi, 2012) ise göreceli olarak pahalı olmayan bir indüksiyon motoru ile bir CVT eşleştirmesi yapılarak batarya elektrikli aracın genel verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. Çalışmada karşılaştırma yapılacak iki araçlardan bir tanesi kompakt araç olması için BMW Mini E, diğeri ise spor bir araç olması için Tesla Roadster olarak tasarlanmıştır. Çalışma sonuçlarında CVT, araçların sabit aktarımlı tek vitesli hallerine göre kıyaslandığında kompakt araçta % 1,3, spor araçta % 9,15 ' lik verim iyileşmesi sağladı.

Hibrit enerji depolama sistemi ve CVT kullanılan bir diğerk çalışmada (Ruan ve diğerleri, 2019), Volkswagen e-golf araç modeli baz alınarak CVT nin ek enerji tüketimine rağmen genel enerji tüketiminin FTP-75 e göre % 4,8, HWFET e göre % 10,9 oranlarında azaltıldığı görülmüştür. Aynı zamanda hibrit enerji depolama sistemi ile günlük 50 km sürüş değeri dikkate alındığında yıllık batarya kapasite kaybının CVT kullanımında tek vites kullanımına göre % 14,5 daha iyi bir olduğu ortaya koyulmuştur.

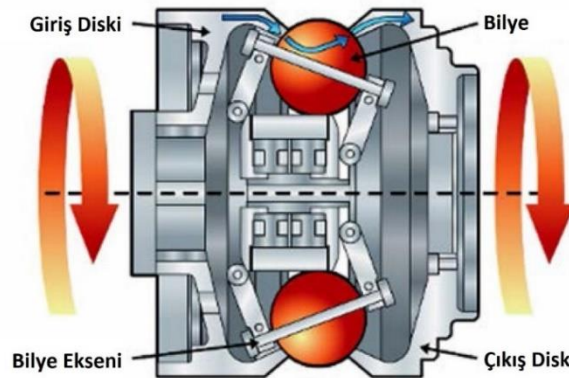
2.3.2 CVP

CVP (Continuously Variable Planetary, sürekli değişken planet) sisteminde motor tarafından tahrik edilen disk, aldığı hareketi dönüş eksenini değişebilen bilyeler vasıtasıyla tahrik edilen diske aktarmaktadır. Sürekli değişken şanzıman grubunda olan bu tür, görünüm bakımından farklılığı olsa da çalışma prensibine bakıldığında daha önce bölüm 2.3.1 'de bahsedilen şanzıman türü ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Farklılık olarak bu şanzıman tipinde aktarımı sağlayan bir kayış yerine dönüş eksenini değişkenlik gösteren bilyeler kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 9' da görüldüğü üzere giriş ile aynı taraftan çıkış alınabilmektedir ki bu duruma bölüm 2.3.1' de bahsi geçen şanzıman tipinde rastlanılmamıştır. **Şekil 10'da ise direkt güç çıkışlı versiyonun görseli mevcuttur.**

Sistemin diğer bir farkı, kayış – kasnak mekanizmalı sürekli değişken şanzımanlardaki aktarma kayış esnek bir yapıya sahip iken bu sistemde aktarım elemanı olarak sert bir yapıya sahip bilye kullanılıyor olmasıdır. Bu özellik sistemin planet setine dönüştürülmesini sağlamaktadır (Li ve diğerleri, 2019). Bu nedenle bu şanzıman türüne sürekli değişken planet adı verilmektedir.



Şekil 9. CVP kayış çıkışlı güç aktarım görseli (McBroom, Smithson, Urista ve Chadwell, 2012)



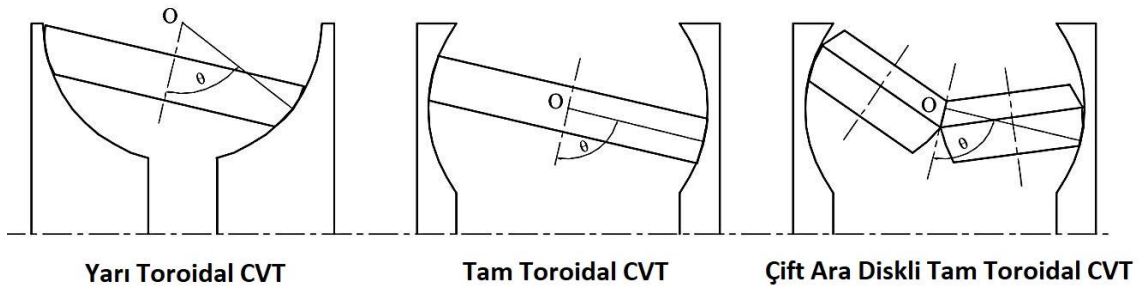
Şekil 10. CVP direkt çıkışlı güç aktarım görseli (McBroom ve diğerleri, 2012)

Camcı, yapmış olduğu deneysel çalışmada (Camcı, 2013), CVP çalışma sistemini detaylı şekilde anlatmış ve tasarlamış olduğu elektrikli go-kart aracında 4 KW gücünde bir elektrik motoru ve CVP şanzıman kullanmıştır. Gerçekleştirmiş olduğu deneysel çalışmada altı farklı test yaparak sabit aktarım oranı, kademeli aktarım oranı ve sürekli değişken aktarım oranının araç menziline ve ortalama hızına etkisini göstermiştir. Testlerde 1 – 1,25 – 1,5 – 1,75 olmak üzere dört farklı sabit aktarım oranı kullanılmıştır. Çalışmanın sabit aktarım oranlı test sonuçlarına bakıldığında aktarım oranının artmasıyla ortalama hızın da arttığı fakat menzilin yalnızca 1,5 aktarım oranına kadar yükseldiği görülmektedir. Kademeli değişken ve sürekli değişken aktarımlı test sonuçlarına bakıldığında ise sürekli değişken aktarım kademeli aktarıma göre menzil avantajı sağlarken söz konusu ortalama hız olduğunda durum tam tersi olmaktadır fakat buradaki fark çok azdır. Genel değerlendirme yapıldığında kademeli değişken ve sürekli değişken aktarım sistemi sabit oranlı aktarıma göre hem menzil hem de ortalama hız bakımından üstün olduğu söylenebilir.

2.3.3 Toroidal CVT

Toroidal CVT (Continuously Variable Transmission, sürekli değişken şanzıman)' lerde, iki eş eksenli şaft üstüne yerleştirilmiş iki toroidal koniden oluşmaktadır (Belfiore ve De Stefani, 2003) ve bu iki koni, toroidal şanzımanın ana giriş çıkış diskleri olarak isimlendirilmektedir (Bottiglione ve diğerleri, 2014). **Şekil 11'de toroidal CVT türlerinin görselleri yer almaktadır.** Sistemin çalışma mantığı önceki alt bölümlerde anlatılan CVP ve kayışlı / zincirli CVT' ler ile benzerlik göstermektedir. Burada farklılık olarak görülen durum ara elemanın bir kayış, zincir ya da bilye yerine bir disk olmasıdır.

Toroidal CVT' de gücün aktarılması ara disklerin giriş ve çıkış diskleri ile temas yarıçaplarını değiştirerek çevrim oranının artırılması ya da azaltılması ilkesine dayanır. Şekil 11' de gösterildiği gibi tam, yarım ve çift ara diskli olmak üzere 3 tipi bulunmaktadır. İsimlendirmede giriş ve çıkış disklerinin birleştirildiğinde bir tam daire oluşuyorsa tam toroidal, yarım daire oluşuyorsa yarı toroidal ismi verilmektedir. (YILDIZ ve KOPMAZ, 2014)



Şekil 11. Toroidal CVT türleri (YILDIZ ve KOPMAZ, 2014)

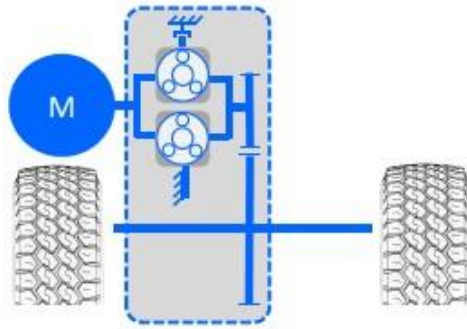
Bir çalışmada (Bottiglione ve diğerleri, 2014), sabit oranlı aktarım, yarı toroidal, tam toroidal, sürekli değişken ve sonsuz değişken şanzımanın enerji verimlilikleri UDC ve J10-15' e göre değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçların bakıldığında sonsuz

değişken şanzıman en iyi performansı gösteren şanzıman olarak öne çıkmaktadır fakat yarı toroidal şanzıman sonsuz değişken şanzımana göre UDC % 0.2 ve J10-15' te ise % 3.5 oranlarında daha fazla enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Burada sonsuz değişken şanzımanın ve yarı toroidal şanzımanın enerji tüketiminin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Hesaplamalarda planet dişlideki güç kayıpları göz önüne alındığında yarı toroidal şanzıman makul bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda sonsuz değişken şanzımanın yarı toroidal şanzımana göre maliyetini, boyutunun ve ağırlığının daha fazla olduğu düşünülmektedir. Diğer bir yandan yarı toroidal şanzımanın tek vitesli şanzımanlı sisteme göre belirtilen iki sürüş programında % 13 ve % 20 oranlarında daha ekonomik olduğu görülmüştür. İki vitesli şanzımanla kıyaslandığında UDC' de %10, J10-15' te ise % 12 oranında daha ekonomik olduğu ortaya koyulmuştur.

2.4 İki vitesli Planet Sistem

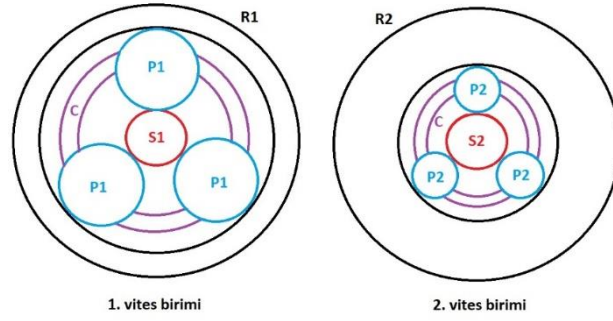
Planet dişli sistemlerin iki serbestlik derecelerinden dolayı iki farklı dişli oranı elde edilebilmektedir (Joshi ve Ugale, 2020).

Bu şanzıman sisteminde birbirleriyle akuple halde olan iki adet planet dişli seti bulunmaktadır. **Şekil 12, iki vitesli planet sistemin eleman yerleşimini göstermektedir.** Vites değişim işlemi her bir halka dişlinin dönmesini durduran hidrolik B1 ve B2 kavramaları aktif olmaktadır. Burada hangi set üzerinden aktarım gerçekleştirilmek isteniyorsa o sete ait kavrama aktif olup halka dişliyi durdurmaktadır. Güç, sete güneş dişliden girip taşıyıcıdan çıkmaktadır. 1. vites ile 2. vites arasında, hangi debriyajın çalıştırıldığı dışında herhangi bir fark yoktur (Joshi ve Ugale, 2020). Bu sistemde de iki vitesli çift kavramalı şanzımanda olduğu gibi vites seçimi esnasında sadece kavramalar arasında geçiş yapılması yeterli olduğundan dolayı daha önceki sistemde bahsedilen sarsıntısız vites değişimi bu sistemde de geçerliliğini korumaktadır. 2 vitesli DCT sistemi ile kıyaslandığında bu sistem planet dişli setinin boyutsal kompaktlığından yararlanarak daha küçük ebatlara sahip olabilecektir.



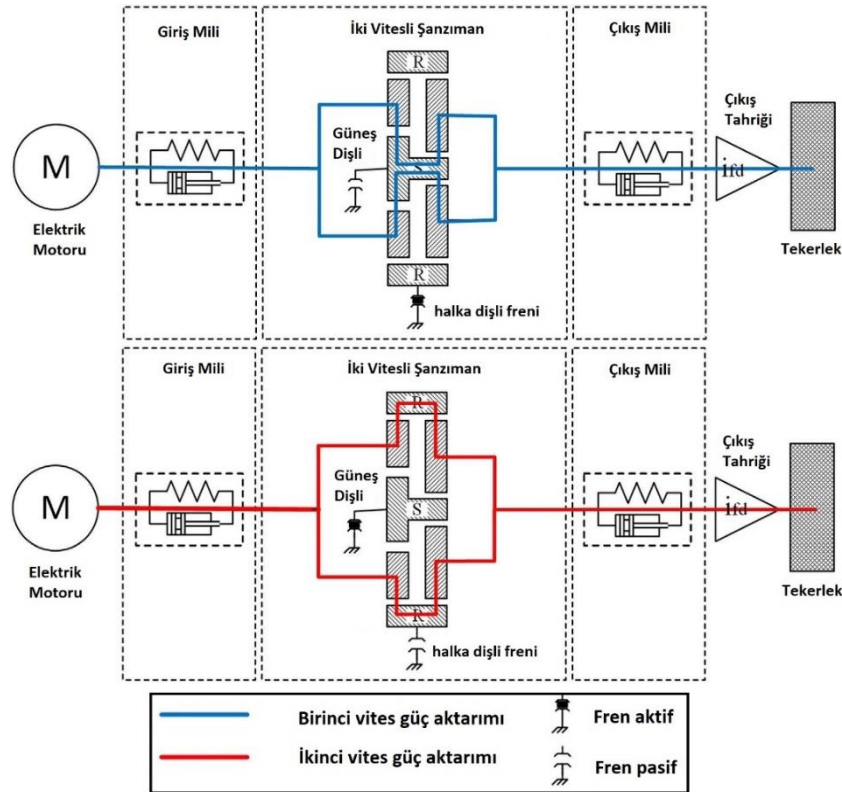
Şekil 12. İki vitesli planet sistem (Joshi ve Ugale, 2020)

Şekil 12.' de birinci ve ikinci planet setlerine ait görseller görülmektedir. Birinci ve ikinci planet dişli setlerinin dış boyutlarının aynı olması ve ikinci planet sisteminde aktarım oranının daha düşük olması için daha küçük taşıyıcı kullanımından dolayı ikinci planet sistemindeki halka dişli yüzeyinin daha geniş imal edildiği düşünülmektedir.



Şekil 13. Birinci ve ikinci planet setleri (Joshi ve Ugale, 2020)

Başka bir çalışmada (Rahimi Mousavi ve diğerleri, 2015), elektrikli araçlar için sorunsuz vites değişim özelliği olan iki vitesli şanzımanın dinamik modellemesi, kontrolcü tasarımı ve deneysel olarak onaylanması yapılmıştır. **Sekil 14’te çalışmaya ait yerleşim modelleri yer almaktadır.** Bu şanzıman ortak güneş ve halka dişlisi olan ve güç akışını kontrol eden iki adet fren mekanizması olan iki adet planet dişli setinden oluşmaktadır. Sistemde iki farklı dişli oranı sağlamak için giriş ve çıkış taraflarında halka dişlinin güneş dişlisine olan yuvarlanma dairesi çap oranları farklıdır. Hızlı ve pürüzsüz vites değişimi amacıyla güneş ve halka dişlinin hız kontrolü için iki adet sürtümlü kavrama kullanılmaktadır. Güneş dişlinin ya da halka dişlinin frenlenmesiyle iki farklı aktarım oranı elde edilmektedir.

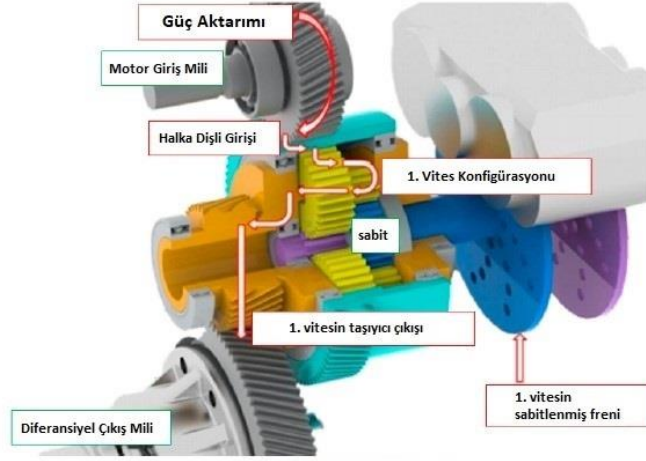


Şekil 14. Çift frenli iki vitesli sistemin çalışma prensibi (Rahimi Mousavi ve diğerleri, 2015)

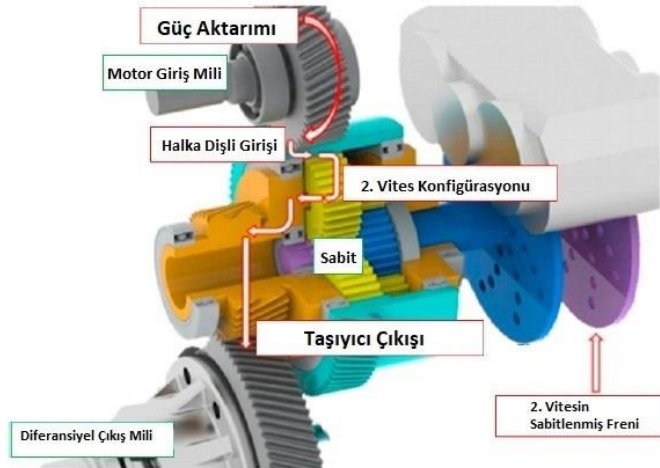
2.5 İki Vitesli Hidrolik Fren Destekli Planet Sistem

Bir çalışma (Han ve diğerleri, 2019) kapsamında 2850 rpm esnasında 300 Nm tork üreten 88 KW gücündeki bir motor için tasarlanan bu sistemde motor giriş şaftı planet setinin muhafazasını ve halka dişliyi döndürmektedir. Aynı muhafaza içinde yer alan iki adet planet dişli setlerinin güneş dişlileri Şekil 15 ve 16'da gösterilmiş olan mavi ve mor diskli hidrolik destekli fren diskleri ile durdurulmaktadır. Eğer güneş dişli diskler vasıtasıyla durdurulmuşsa planet dişli güneş dişli etrafında döner ve taşıyıcıyı döndürmektedir.

Dişli oranı hangi planet setinin güneş dişlisinin sabitlendiğine göre değişmektedir. İki vitesli çift kavramalı şanzıman tipinde olduğu gibi bu şanzıman türünde de birinci vites düşük hız dişlisidir, kalkış ve rampa çıkışı gibi yük durumlarında kullanılırken ikinci vites yüksek hız dişlisidir, araç yüksek hızda iken kullanılmaktadır. İki vitesli çift kavramalı sistemde güç dış muhafazadan iç kavramalara aktarılıyor iken buradaki sistemde halka dişliden giriş yapmaktadır.



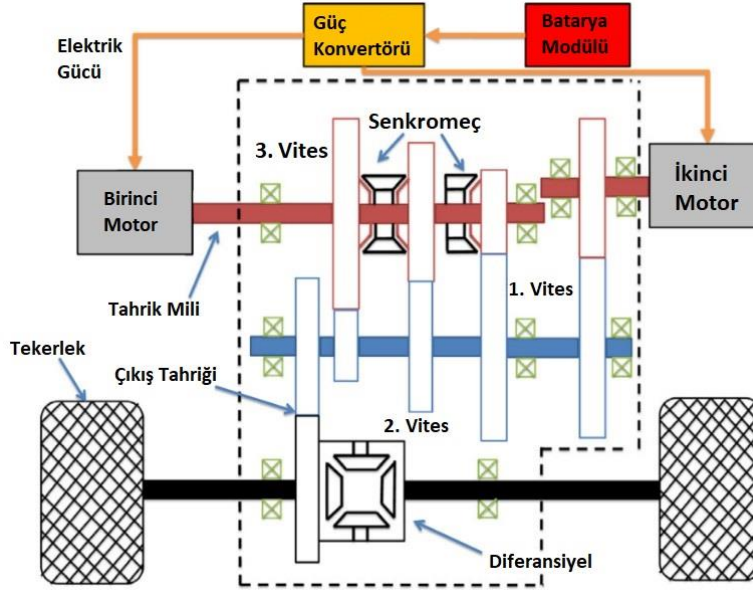
Şekil 15. İki Vitesli Hidrolik Fren Diskli Planet Sistemin 1. Vites Mekanizması (Han ve diğerleri, 2019)



Şekil 16. İki Vitesli Hidrolik Fren Diskli Planet Sistemde 2. Vites Mekanizması (Han ve diğerleri, 2019)

2.6 Çift Girişli Şanzıman Sistemi

Bu sistemde **Şekil 17'de görülmekte olan** birinci motor ana güç kaynağıdır ve sık dur-kalk yapılan düşük hız koşullarının geçerli olduğu şartlarda çalışmaktadır. **Yine şekil 17'de görülen** ikinci motor ise şanzımanda vites değişimi esnasında meydana gelen tork boşluklarını (sarsıntıyı) sönmülemekle görevlidir. İkinci motor aynı zamanda ivmelenme anında birinci motorun kapasitesi aşıldığında da yardım etmektedir (Liang, Yang, Wu, Zhang ve Walker, 2018)

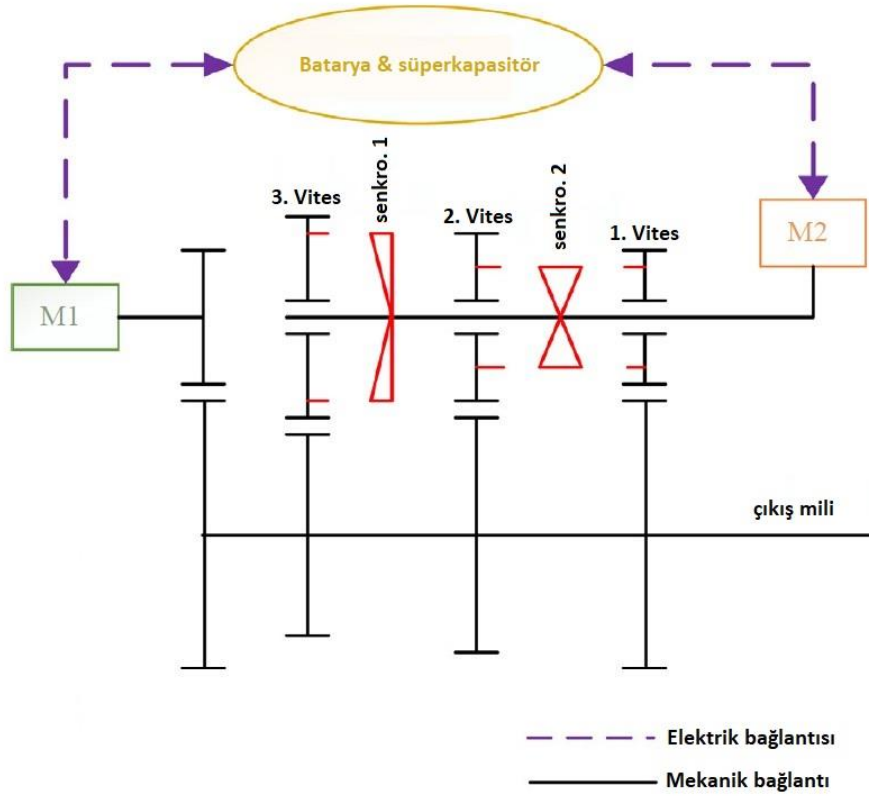


Şekil 17. Çift girişli şanzıman sistem gösterimi (Liang ve diğerleri, 2018)

Belirtilen sistemde iki vitesli çift kavramalı şanzıman konusunda bahsedilen iki vitesten daha fazla vites kullanımı söz konusu olduğunda ortaya çıkan ek maliyet yükleri ve kayıp fazlalığı görülebilecektir. Diğer yandan ikincil motor kullanımının sarsıntıyı engellemesi sürücüye keyifli bir deneyim yaşatacaktır. Vites sayısının fazla olması optimum aktarım oranı için seçenekleri artırmaktadır ve tahrik motorunun çalışma aralığını azaltacaktır. Fakat komponent sayısının artması genel ağırlığın, maliyetin ve kayıpların da artmasına sebebiyet vereceğinin unutulmaması gerekir.

Sistem özelliklerine bakıldığında birinci motorun dişli oran yelpazesi daha geniş olduğundan dolayı ikinci motorun tepe torkunu (peak torque) daha uzun süre sağlaması gereklidir (Liang ve diğerleri, 2018). Çünkü birinci motora bağlı milde her vites değişiminde aktarım oranı ve hız değişirken ikinci motora bağlı dişlide aktarım oranı hep sabit kalacaktır.

İvmelenme esnasında güç paylaşım kontrolörünün kararıyla her iki motor çalışmaktadır. Eğer araç hızı çok yüksekse ikinci motor tek başına güç talebini karşılayabilecektir (Liang ve diğerleri, 2018). Özellikle otoban hızlarında sürüş yapıldığı durumlarda araç nispeten sabit hız bandında ilerlediği için tork ihtiyacı düşük olmaktadır. İkinci motorun yüksek süratlerdeki tork yeterliliği de olaya dâhil olduğunda birinci motora gerek duyulmayacaktır.



Şekil 18. Çift girişli şanzıman sistemi görseli (Yang ve diğerleri, 2020)

Şekil 18.' de görülen sistemin kullanıldığı bir deneysel çalışmada (Yang ve diğerleri, 2020), çift girişli sistem ile tek vitesli sistem enerji tüketimi açısından kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarında çift girişli sistem tek vitesli sisteme göre NEDC' de % 1,59, FTP75' te % 2,54, LA92' de % 2,09, HWFET' de % 2,73, UDDS' te % 1,64, WLTP' de % 3,01 oranlarında enerji tüketimi iyileşmesi görülmüştür.

2.7 Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman (I-AMT)

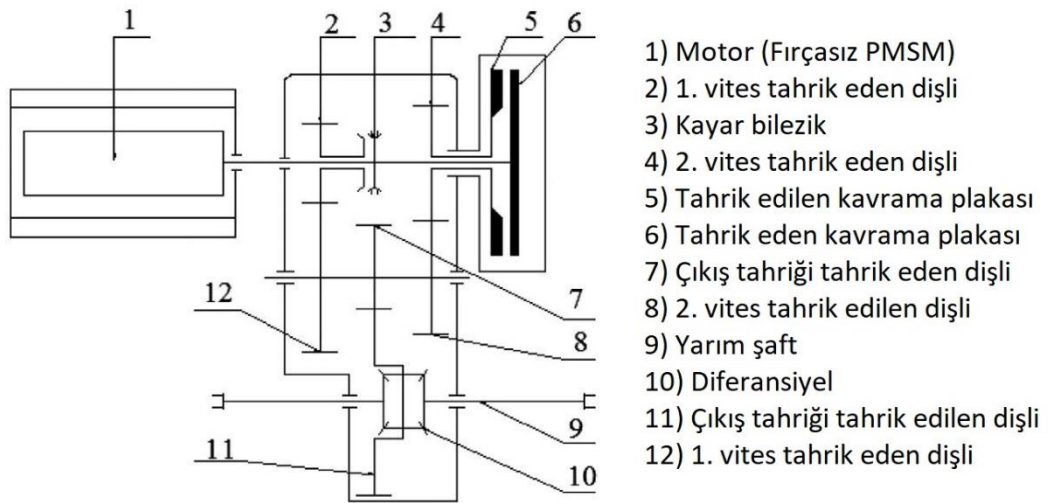
İçten yanmalı motorlu araçlarda sıkça kullanılan manuel şanzımanlar belirli donanımların yardımlarıyla otomatik şanzımana dönüştürülebilmektedirler. Dönüştürülen şanzımanların genelinde sürtünmeli kavrama bulunmaktadır. Manuel şanzımana sahip araçlarda vites aktivasyonunun sağlanabilmesi için öncelikle kavrama vasıtasıyla şanzıman – motor bağlantısı kesilerek dişli üzerindeki motor gücü sıfırlanmaktadır. Ardından senkromecin kayar bileziğine bir çatal ile bağlı olan şanzıman levye kolu belirli yol üzerinde hareket ettirilerek şanzıman içindeki senkromeç – dişli akuplasyonu gerçekleştirilmektedir. Senkromeç, şanzıman içinde tahrik eden ya da tahrik edilen mil üzerinde dişliler arasında bulunmaktadır ve hangi dişli ile akupule hale getirilmiş ise motor gücü o dişli üzerinden çıkış miline iletilmektedir.



Şekil 19. Senkromeci oluşturan eleman grubu (Sorniotti ve diğerleri, 2011)

Şekil 20'de genel sistem şeması ve eleman isimleri yer alan ters otomatikleştirilmiş manuel şanzımanda sürtünmeli kavrama, geleneksel otomatikleştirilmiş manuel şanzımanlardaki çekiş kesintisinin ortadan kaldırılması adına şanzımanın arka tarafına yerleştirilmiştir. Motorun çıkış şaftı direkt olarak şanzıman giriş şaftına ve kavrama tahrik plakasına bağlıdır. İkinci vites dişlisi kuru kavramanın tahrik edilen plakasına bağlıken birinci vites dişlisi kayar bilezik ile aktif ya da pasif olur. İkinci vites çekişi kuru kavramanın bağlantısı aracılığıyla aktarılır. Sürtünmeli kavrama ve basit dişli yerleşimi şanzıman verimini yüksek tutmaktadır. Kayar bilezik ve kavrama elektrikli aktüatör tarafından tahrik edilir ki bu sürüş sistemindeki kayıpları daha da azaltır. (Gao, Liang, Xiang, Guo ve Chen, 2015)

Bir çalışma (Gao ve diğerleri, 2015) içinde yapılan kıyaslamalar sonucunda iki vitesli ters otomatikleştirilmiş şanzıman kullanımı tek vitesli aktarıma göre 0 - 80 km/h hızlanma süresinin 12 saniyeden 10,9 saniyeye indirilmesini, azami hızın 113 km/h ten 148 km/h e yükselmesini sağlarken, enerji tüketimi açısından NEDC' ye göre %11,4, UDDS' e göre %7,31 ve J10-15' e göre % 8,61' lik enerji tüketim iyileştirmesini sağlamıştır.



Şekil 20. Ters otomatikleştirilmiş şanzıman (Gao ve diğerleri, 2015)

2.8 Güncel araç modellerinde kullanılan şanzıman tipleri

Bu bölümde içinde bulunduğumuz yıllarda isimlerini duymaya başladığımız batarya elektrikli araç modellerinde kullanılan şanzıman tipleri hakkında bilgi vermek için bir tablo oluşturulmuştur. Tablo 3’ te araç marka ve modellerine ait motor güçleri ve şanzıman tipleri görülebilir. Genel değerlendirmede modellerin çoğunda üretim kolaylığı ve uygun maliyet sağlamasından dolayı tek vitesli şanzıman tipinin kullanıldığı görülecektir. Araçta kullanılan şanzımanın ne seviyede bir güç ile çalıştığına görülmesi amacıyla motor gücü de tabloya eklenmiştir.

Tablo 3. Güncel araç modellerine ait motor güçleri ve şanzıman tipleri

MODEL	MOTOR GÜCÜ	ŞANZIMAN TİPİ	KAYNAK
BMW i3	125 kW (170hp)	Otomatik, sabit oranlı tek vites Aktarım oranı: 9.665:1	(BMW, y.y.)
Nissan Leaf	80 kW (110 hp)	1 ileri sabit oran: 7.94:1	(Caranddriver, y.y.-a)
Jaguar I-pace	147 kW (200 hp)	Otomatik tek vites redüksiyon dişlisi Her iki motor için katarım oranı: 9.04	(EVspecifications, y.y.-a)
Tesla Model S	615 kW (836 hp) (Arka ve ön motor kombine)	1 – vitesli sabit dişli oranı Aktarım oranı: 9.734:1 veya 9.325:1	(Wikipedia, y.y.-a)
Tesla Model X P90D ve P100D	193 kW (259 hp) ön 375 kW (503 hp) arka	Tek vitesli transaks şanzıman Ön aktarım oranı: 9.34:1 Arka aktarım oranı: 9.73:1	(Wikipedia, y.y.-b)
Porsche Taycan	560 kW (761 hp)	2 – vitesli planet dişli seti Birinci vites oranı: 15:1 İkinci vites oranı: 8:1	(Wienkötter, y.y.)
Chevrolet Bolt Ev	149 kW (200 hp)	1 – vitesli elektronik hassas vites değişimi Çıkış tahrik oranı: 7.05:1	(Wikipedia, y.y.-c)
Audi e-tron 55 quattro	Motor 1: 140 kW (190 hp) Motor 2: 125 kW (170 hp)	Otomatik tek vites redüksiyon dişlisi Her iki motor için aktarım oranı: 9.205	(EVspecifications, y.y.-b)
Renault Zoe	65 kW (88.4 hp)	Otomatik tek vites redüksiyon dişlisi Aktarım oranı: 9.3	(EVspecifications, y.y.-c)
Mercedes-Benz EQC	295 kW (402 hp)	1 – vitesli doğrudan tahrikli şanzıman	(Caranddriver, y.y.-b)
VW ID.4 Pro	147,8 kW (201 hp)	1-vitesli otomatik şanzıman İleri – geri: 2.96 Çıkış tahrik oranı: 4.39	(VW media, y.y.)
Fiat 500e	83 kW (113 hp)	Tek vitesli aktarım Aktarım oranı: 9.59	(FIAT, y.y.)
Honda E	100–113 kW (134–152 hp)	1 – vitesli sabit dişli	(Wikipedia, y.y.-d)
NIO EP9	4 adet 250 KW (335.25 hp)	4 adet bağımsız tek vitesli şanzıman	(Topspeed, y.y.)

3. Bulgular

Bu bölümde çalışma içerisinde incelenen şanzıman tipleri ile alakalı edinilen bilgilerle kıyaslama tablosu hazırlanmış olup şanzıman tipine göre belirtilen özellikler için puanlama yapılmıştır. Puanlamada 5 en iyi ve 1 en kötü durumu ifade etmektedir.

Tablo 4. Şanzıman kıyaslama tablosu

Şanzıman Tipi	Enerji Tüketimi	Eğim Kabiliyeti	Son Hız
Sabit Oranlı Aktarım	1	1	1
İki Vitesli Çift Kavramalı Şanzıman (2 vitesli DCT)	4	5	5
Kayışlı / Zincirli CVT	2	4	4
CVP	2	4	4
Toroidal CVT	5	4	4
İki vitesli Planet Sistem		5	5
İki Vitesli Hidrolik Fren Destekli Planet Sistem	3	5	5
Çift Girişli Şanzıman Sistemi	3	5	5
Ters Otomatikleştirilmiş Manuel Şanzıman (I-AMT)	3	3	5

4. Sonuç

Bu çalışma içerisinde batarya elektrikli araçlarda güç aktarımı için şanzıman kullanımının ne derece gerekli olduğu ve kullanılmış olan şanzıman tiplerinin çalışma prensipleri anlatılıp enerji tüketimleri kıyaslanmaya çalışılmıştır. Literatürde var olan şanzıman çalışmaları hem günümüz hem de gelecekteki batarya elektrikli araçlarda hem ekonomik hem de dinamik performans açısından umut vadetmektedir.

İncelenen şanzıman türlerine bakıldığında hemen hemen tüm şanzıman tipleri günümüz batarya elektrikli araçlarının büyük çoğunluğunda bulunan tek vitesli şanzımana göre daha uzun menzil, daha ekonomik enerji tüketimi ve daha dinamik performans sağlamaktadır. Buna karşın şu anki piyasa koşullarında isimleri duyulmaya başlanan araç modellerine bakıldığında ise üretici firmaların aldığı kararın üretim kolaylığı ve uygun maliyetten yana olduğu görülmektedir.

Deneysel çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde 2 vitesli DCT ve sürekli değişken şanzıman grubundan olan yarı toroidal CVT şanzıman diğer şanzıman modellerinde göre batarya elektrikli araçlar için daha uygun olarak görülmektedir. Sabit aktarım oranlı şanzıman türüne göre 2 vitesli DCT daha iyi eğim kabiliyeti ve daha yüksek son hız sağlarken, yarı toroidal CVT ise pürüzsüz ve sorunsuz bir sürüş deneyimi sağlamaktadır. Bu iki şanzıman modeli arasında seçim yapılması gerektiğinde yarı toroidal CVT' nin enerji tüketimi açısından 2 vitesli DCT' ye göre daha ekonomik sonuçlar ortaya koyduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Kıyaslamaların sadece enerji tüketimi açısından yapılması

yetersiz olduğundan dolayı ağırlık, üretim kolaylığı, maliyet, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik gibi kavramların da masaya yatırılması gerekmektedir.

Gelecek çalışmalarda aktarım sisteminde şanzıman kullanımıyla alakalı olarak gerçek zamanı enerji tüketimi değerlendirmesi, maliyet hesabı yapılması ve yukarıda bahsedilen diğer hususların üzerinde durulması gerekmektedir. Bu sayede geliştirilecek şanzıman tipleri batarya elektrikli araçların enerji tüketimlerini çok daha ekonomik bir seviyeye çekecektir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, 119 C 154 proje numaralı TÜBİTAK 2244 Sanayi – Doktora programı kapsamında kısmi olarak desteklenmiştir.

6. Kaynakça

- Beaudoin, M. A. ve Boulet, B. (2021). Fundamental limitations to no-jerk gearshifts of multi-speed transmission architectures in electric vehicles. *Mechanism and Machine Theory*, 160, 104290. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2021.104290
- Belfiore, N. P. ve De Stefani, G. (2003). Ball toroidal CVT: A feasibility study based on topology, kinematics, statics and lubrication. *International Journal of Vehicle Design*, 32(3–4), 304–331. doi:10.1504/IJVD.2003.003558
- BMW. (y.y.). Technical specifications of the BMW i3. <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0285608EN/technical-specifications-of-the-bmw-i3-120-ah-and-the-bmw-i3s-120-ah-valid-from-11/2018?language=en> adresinden erişildi.
- Bottiglione, F., De Pinto, S., Manriota, G. ve Sorniotti, A. (2014). Energy consumption of a battery electric vehicle with infinitely variable transmission. *Energies*, 7(12), 8317–8337. doi:10.3390/en7128317
- Camcı, A. T. (2013). HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SÜREKLİ DEĞİŞKEN ORANLI ŞANZIMAN KULLANILARAK MENZİL VE PERFORMANSIN ARTIRILMASI. *TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ*.
- Caranddriver. (y.y.-a). Nissan Leaf Features and Specs. <https://www.caranddriver.com/nissan/leaf/specs> adresinden erişildi.
- Caranddriver. (y.y.-b). 2021 Mercedes-Benz EQC. <https://www.caranddriver.com/mercedes-benz/eqc> adresinden erişildi.
- Carlos Daniel Pires, R. (2018). Design of a high-speed transmission for an electric vehicle, 309.
- EVspecifications. (y.y.-a). 2019 Jaguar I-pace specifications and price. <https://www.evspecifications.com/en/model/189c93> adresinden erişildi.
- EVspecifications. (y.y.-b). 2019 Audi e-tron 55 quattro specifications and price. <https://www.evspecifications.com/en/model/fff46a> adresinden erişildi.
- EVspecifications. (y.y.-c). 2019 Renault Zoe Q90 specifications and price. <https://www.evspecifications.com/en/model/bf8e8b> adresinden erişildi.
- FIAT. (y.y.). 2019 Fiat 500e specifications. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjggtm1nqnxAhVD_rsIHfufDa0QFjACegQIBBAD&url=https%3A%2F%2F

- media.fcanorthamerica.com%2Fdownload.do%3Fid%3D20137&usg=AOvVaw2_djL33DkaFW0CyLGx5eCV adresinden erişildi.
- Gao, B., Liang, Q., Xiang, Y., Guo, L. ve Chen, H. (2015). Gear ratio optimization and shift control of 2-speed I-AMT in electric vehicle. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 50–51, 615–631. doi:10.1016/j.ymssp.2014.05.045
- Han, J. O., Shin, J. W., Kim, J. C. ve Oh, S. H. (2019). Design 2-speed transmission for compact electric vehicle using dual brake system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(9). doi:10.3390/app9091793
- Hegde, A., Deshmukh, A., Pathak, R., Manny, S., Nigudkar, K. ve Pandya, Y. (2017). Tuning CVT of an Electric Vehicle, 2(2), 55–60.
- Hexagon. (2021). Elektrikli Araç Aktarma Organları. <https://www.hexagonmi.com/tr-tr/solutions/industries/automotive/emobility/electric-vehicle-drivetrains> adresinden erişildi.
- Hofman, T. ve Dai, C. H. (2010). Energy efficiency analysis and comparison of transmission technologies for an electric vehicle. *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2010*. doi:10.1109/VPPC.2010.5729082
- Joshi, P. ve Ugale, A. S. (2020). Overview of transmission system for the electric vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology*, (June), 910–913.
- Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1–13.
- Kwon, K., Jo, J. ve Min, S. (2021). Multi-objective gear ratio and shifting pattern optimization of multi-speed transmissions for electric vehicles considering variable transmission efficiency. *Energy*, 236, 121419. doi:10.1016/j.energy.2021.121419
- Laitinen, H. (2017). Improving electric vehicle energy efficiency with two-speed gearbox.
- Lechner, G. ve Harald, N. (1999). *Automotive Transmissions Fundamentals, Selection, Design and Application*.
- Li, Q., Zhou, X., Wang, S. ve Liang, J. (2019). Power split transmission with continuously variable planetary ratio. *Mechanism and Machine Theory*, 140, 765–780. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.031
- Liang, J., Yang, H., Wu, J., Zhang, N. ve Walker, P. D. (2018). Shifting and power sharing control of a novel dual input clutchless transmission for electric vehicles. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 104, 725–743. doi:10.1016/j.ymssp.2017.11.033
- McBroom, S., Smithson, R. A., Urista, R. ve Chadwell, C. (2012). Effects of Variable Speed Supercharging Using a Continuously Variable Planetary on Fuel Economy and Low Speed Torque. *SAE International Journal of Engines*, 5(4), 1717–1728. doi:10.4271/2012-01-1737
- Rahimi Mousavi, M. S., Pakniyat, A., Wang, T. ve Boulet, B. (2015). Seamless dual brake transmission for electric vehicles: Design, control and experiment. *Mechanism and Machine Theory*, 94, 96–118. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2015.08.003
- Ruan, J., Song, Q. ve Yang, W. (2019). The application of hybrid energy storage system with electrified continuously variable transmission in battery electric vehicle. *Energy*, 183, 315–330. doi:10.1016/j.energy.2019.06.095
- Ruan, J., Walker, P. D., Wu, J., Zhang, N. ve Zhang, B. (2018). Development of continuously variable transmission and multi-speed dual-clutch transmission for pure electric vehicle. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(2), 1–15. doi:10.1177/1687814018758223

- Ruan, J., Walker, P. D., Zhang, N. ve Wu, J. (2017). An investigation of hybrid energy storage system in multi-speed electric vehicle. *Energy*, 140(December), 291–306. doi:10.1016/j.energy.2017.08.119
- Ruan, J., Walker, P. ve Zhang, N. (2016). A comparative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions. *Applied Energy*, 165, 119–134. doi:10.1016/j.apenergy.2015.12.081
- Ruan, J., Walker, P. ve Zhang, N. (2018). Comparison of Power Consumption Efficiency of CVT and Multi-Speed Transmissions for Electric Vehicle. *International Journal of Automotive Engineering*, 9(4), 268–275. doi:10.20485/jsaeijae.9.4_268
- Ruan, J., Zhang, N. ve Walker, P. (2015). Comparing of single reduction and CVT based transmissions on battery electric vehicle. *2015 IFToMM World Congress Proceedings, IFToMM 2015*, (October). doi:10.6567/IFToMM.14TH.WC.OS17.010
- Sayın, A. A. ve Yüksel, İ. (2011). Elektrikli Renault Fluence Aracı, Lityum-İyon Bataryasının Modellenmesi Ve Batarya Yönetimi. *Mühendis ve Makina*.
- Schulz, M. (2004). Circulating mechanical power in a power-split hybrid, 218, 1419–1425.
- Smolenaers, S. ve Ektesabi, M. (2012). Battery-to-Wheel Efficiency of an Induction Motor Battery Electric Vehicle with CVT and Adaptive Control. *Sustainable Automotive Technologies 2012*, 229–234. doi:10.1007/978-3-642-24145-1_30
- Sornioti, A., Subramanyan, S., Turner, A., Cavallino, C., Viotto, F. ve Bertolotto, S. (2011). Selection of the Optimal Gearbox Layout for an Electric Vehicle. *SAE International Journal of Engines*, 4(1), 1267–1280. doi:10.4271/2011-01-0946
- Spanoudakis, P., Tsourveloudis, N. C., Doitsidis, L. ve Karapidakis, E. S. (2019). Experimental research of transmissions on electric vehicles' energy consumption. *Energies*, 12(3), 1–15. doi:10.3390/en12030388
- Srivastava, N. ve Haque, I. (2009a). Nonlinear dynamics of a friction-limited drive: Application to a chain continuously variable transmission (CVT) system. *Journal of Sound and Vibration*, 321(1–2), 319–341. doi:10.1016/j.jsv.2008.09.045
- Srivastava, N. ve Haque, I. (2009b). A review on belt and chain continuously variable transmissions (CVT): Dynamics and control. *Mechanism and Machine Theory*, 44(1), 19–41. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2008.06.007
- Topspeed. (y.y.). 2019 NIO EP9. <https://www.topspeed.com/cars/others/2019-nio-ep9-ar177837.html> adresinden erişildi.
- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Akgün, F., ... Turhan, L. (2003). Elektrikli Araçlar. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi*, 80.
- VW media. (y.y.). 2021 Volkswagen ID.4 Technical Specifications. <https://media.vw.com/assets/documents/original/13028-2021ID4RWDTechSpecsFinalv3addedSteeringRatio.pdf> adresinden erişildi.
- Wang, Y., Lü, E., Lu, H., Zhang, N. ve Zhou, X. (2017). Comprehensive design and optimization of an electric vehicle powertrain equipped with a two-speed dual-clutch transmission. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(1), 1–13. doi:10.1177/1687814016683144
- Wienkötter, M. (y.y.). The powertrain: Pure performance. https://newsroom.porsche.com/en_AU/products/taycan/powertrain-18555.html adresinden erişildi.
- Wikipedia. (y.y.-a). Tesla Model S. https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S

- adresinden erişildi.
- Wikipedia. (y.y.-b). Tesla Model X. https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_X adresinden erişildi.
- Wikipedia. (y.y.-c). Chevrolet Bolt. https://en.wikipedia.org/wiki/Chevrolet_Bolt adresinden erişildi.
- Wikipedia. (y.y.-d). Honda e. https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_e adresinden erişildi.
- Yang, W., Ruan, J., Yang, J. ve Zhang, N. (2020). Investigation of integrated uninterrupted dual input transmission and hybrid energy storage system for electric vehicles. *Applied Energy*, 262(September 2019), 114446. doi:10.1016/j.apenergy.2019.114446
- YILDIZ, A. ve KOPMAZ, O. (2014). TOROİDAL SÜREKLİ DEĞİŞKEN AKTARMA SİSTEMLERİ: TERMİNOLOJİ ve MEVCUT ÇALIŞMALAR. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 19(1), 59. doi:10.17482/uujfe.17293
- Yildiz, A. ve Özel, M. A. (2021). A comparative study of energy consumption and recovery of autonomous fuel- cell hydrogen–electric vehicles using different powertrains based on regenerative braking and electronic stability control system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(6). doi:10.3390/app11062515