

# Elektrikli Araç Uygulamaları için 75 kW Asenkron Motor Tasarımı

## Design of 75 kW Asynchronous Motor for Electric Vehicle Applications

Cenk Ulu<sup>1</sup>, Güven Kömürgöz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi  
Enerji Enstitüsü  
cenk.ul@tubitak.gov.tr

<sup>2</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
komurgoz@itu.edu.tr

### Özet

*Bu çalışmada elektrikli araç uygulamaları için 75kW (sürekli 50kW) gücünde sincap kafesli asenkron motor tasarımı gösterilmiştir. İlk olarak motorun temel tasarım kısıt ve performans kriterleri belirlenmiştir. Bu değerlere bağlı olarak motorun bilgisayar destekli tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ardından motorun elektriksel, manyetik ve performans analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, tasarlanan elektrik motorunun istenen güç değerlerini ve tasarım performans kriterlerini sağladığını göstermiştir.*

### Abstract

*In this study, the design of 75kW (continuous 50kW) squirrel cage induction motor for electric vehicle applications is presented. First, the main design constraints and performance criteria are determined. Depending on these constraints and criteria, computer aided design of the motor is performed. Then, the electrical, magnetic and performance analyses of the motor are performed. The analysis results show that the designed motor satisfies the desired power specifications and the design performance criteria.*

### 1. Giriş

Azalan petrol kaynakları, artan petrol fiyatları ve çevre emisyon değerlerindeki artış gibi nedenlerden ötürü elektrik tahrikli araçlara yönelim son yıllarda giderek artmaktadır. Bu amaçla araç üreticileri elektrik tahrikli bir çok ticari aracı piyasaya sürmüştür. Bunlar arasında Toyota RAV4 EV, Chevrolet Volt, Tesla Model S ve Renault Twizy gibi araçlar sayılabilir.

Elektrikli araçlar dört ana alt sistemden oluşur. Bunlar sırasıyla batarya ve batarya denetim sistemi, elektrik tahrik sistemi, elektrik motoru sürücüsü ve araç ana kontrol ünitesi şeklindedir. Aracın ihtiyaç duyduğu güç batarya sisteminden sağlanır. Batarya denetim sistemi değişken süreli ve değerdeki güç ihtiyaçlarına bağlı olarak bataryanın sıcaklık ve şarj durumunu sürekli kontrol eder ve araç ana kontrol ünitesine bilgi aktarır. Araç tahrik sisteminde elektrik motoru kullanılmaktadır. Elektrikli araçlarda daimi mıknatıslı senkron

motor [1,2], sincap kafesli asenkron motor [3,4] ve anahtarlamalı relüktans motoru [5,6] gibi çeşitli motor türleri kullanılabilir. Seçilen motorun değişken frekanslı tork kontrolünü sağlamak için ise dört bölge bir sürücü kullanılmaktadır.

Bu çalışmada bir elektrikli araç tahrik sistemi için sürekli çalışmada 50 kW, maksimum çalışmada 75kW gücünde sincap kafesli asenkron motor tasarımı ve analizi gösterilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda tasarlanan elektrik motorunun tasarım kısıtlarına bağlı olarak hedeflenen performans değerlerini sağladığı görülmüştür.

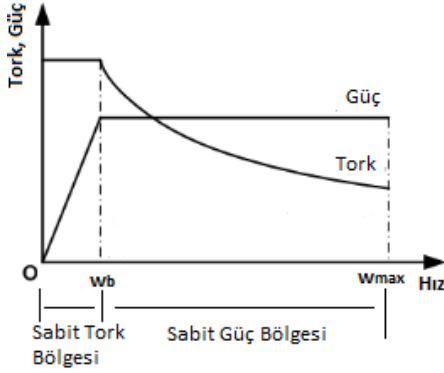
### 2. 75 kW Asenkron Motor Tasarımı

#### 2.1. Sürücü ile Çalışan Asenkron Motorların Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Endüstride kullanılan asenkron motorların çoğu sürücüsüz çalıştırıldığından şebeke gerilimi ve frekansına bağlı olarak sabit çalışma gerilimi ve frekansına göre tasarlanırlar. Literatürde bu tip çalışan asenkron motor tasarımı için kabul görmüş gerek analitik gerekse deneysel bir çok tablo ve veri mevcuttur. Bu veriler tasarım sırasında kutup sayısı, oluk sayısı, oluk tipi, hava aralığı, akım ve akı yoğunlukları gibi ilgili tasarım parametre seçimlerinde tasarımcıya yardımcı olmaktadır. Fakat elektrikli araçlarda olduğu gibi sürücü ile çalışan asenkron motorlar değişken frekans, gerilim ve güç değerlerinde çalışmaktadır. Bu nedenle sabit çalışma noktası için tasarlanmış asenkron motorların tasarımında kullanılan stator-rotor oluk kombinasyonu seçimi gibi hazır verilerin çoğu geçerliliğini yitirmektedir.

Şekil 1' de elektrikli araçlarda kullanılan sürücü ile çalışan elektrik motorlarının hızı bağlı tork ve güç karakteristiği gösterilmiştir [7]. Burada  $w_b$  temel frekans ve  $w_{max}$  maksimum çalışma frekansını göstermektedir. Temel frekansın altındaki çalışma noktaları sabit tork bölgesi olarak adlandırılır. Bu bölgede elektrikli aracın hızlanması ve yokuş çıkması için ihtiyaç duyduğu tork değeri, gerilim ve frekans kontrolü sayesinde farklı hızlar için sabit olarak sağlanabilmektedir. Temel frekans ile maksimum çalışma frekans arasında kalan bölge ise sabit güç bölgesi olarak adlandırılır. Sürücüden

sağlanan gerilimin üst değeri sınırlı olduğundan temel frekanstan sonraki bölgede güç sabit kalır ve hız arttıkça motordan sağlanan tork değeri düşer.



Şekil 1. Elektrikli araçlarda sürücü ile çalışan elektrik motorlarının hıza bağlı tork ve güç karakteristiği

Elektrikli araç için kullanılacak asenkron motor tasarımında ilk olarak nominal güç değerinin elde edilmek istendiği  $w_b$  temel frekans değerinin belirlenmesi gerekir. Böylece istenen  $w_{max}$  maksimum çalışma frekansına bağlı olarak motorun frekans çalışma aralığı ortaya çıkmaktadır. Temel çalışma frekansı motorun belirlenen nominal devir sayısına ve motorun kutup sayısına bağlıdır. Burada dikkat edilecek nokta kutup sayısı belirlenirken motor çalışma frekans aralığının yüksek değerlere ulaşmamasıdır. Bu durum motor tasarımında frekansa bağlı kayıpların artmasına neden olur. Ayrıca motorun maksimum çalışma hızı doğrudan devrilme momenti ile ilgilidir. İstenen maksimum çalışma hızını sağlayabilmek için motor devrilme momentinin büyük olması istenir. Bunu sağlamak için de tasarımda kaçak endüktansların olabildiğince küçültülmesine çalışılır.

İkinci olarak tasarımda elektrikli araç bataryasının sağlayabileceği minimum ve maksimum gerilim değeri dikkate alınır. Motor geriliminin değişmesi laminasyon ve hava aralığındaki akı yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle tasarımda maksimum gerilim için akı yoğunluğu değerlerinin manyetik malzemeyi doyuma götürmemesi gerektiği göz önünde bulundurulur.

Son olarak elektrikli aracın maksimum güç ihtiyacı motor tasarımı için önemli bir etkidir. Bir nominal güç değerine göre tasarlanan motordan daha yüksek değerde güç çekmek istediğimizde motordan çekilen akıma bağlı olarak motorun sıcaklığı hızlı şekilde yükselmektedir. Nominal koşullara göre tasarlanmış soğutma sistemi gözönünde bulundurulduğunda motorun maksimum sıcaklık sınırına ulaşma hızına bağlı olarak çekebileceği maksimum gücün süresi belirlenmektedir. Ayrıca bu durum motorda kullanılacak malzemelerin sıcaklık sınıflarının seçiminde de doğrudan etkilidir.

## 2.2. Tasarım Kısıtları ve İsterleri

Elektrik tahrik motoru elektrikli aracın batarya, sürücü, kontrol ünitesi ve batarya denetim sistemi gibi alt sistemlerinden biridir. Bu nedenle motor tasarımında diğer alt sistemlere bağlı kısıtlar da mevcuttur. Diğer alt sistemlere bağlı olarak motor tasarımını etkileyen kısıt ve isterler Çizelge 1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Tasarım kısıtları ve isterleri

Batarya Çalışma Gerilimi	300VDC – 350VDC
Motor Besleme Gerilimi	210VAC – 240VAC
Nominal Çalışma Devri	2250 rpm
Maksimum Çalışma Devri	>7500 rpm
Nominal Tork Değeri	216 Nm (50kW)
Maksimum Tork Değeri	320 Nm (75kW)
Verim	>%92
Soğutma Tipi	Su soğutmalı
Motor Çalışma Sıcaklığı	90°C
Motorun Yerleştirileceği Hacim	500x500x500mm

## 2.3. Kutup Sayısı – Çalışma Frekansı Seçimi

Motor tasarımına başlamadan önce Çizelge 1’ de belirtilen değerlere bağlı olarak motorun kutup sayısını/çalışma frekansını belirlemek gerekmektedir. Motorun çalışma frekansı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$f_1 = \frac{np}{60} \quad (1)$$

Burada  $n$  ve  $p$  sırasıyla elektrik motorunun devir sayısı ve tek kutup sayısıdır. Bu denklemden yola çıkarak farklı kutup sayıları için hesaplanan, motorun sahip olduğu nominal ve maksimum çalışma frekansları Çizelge 2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kutup sayısına göre çalışma frekansı değişimi

Kutup Sayısı ( $2p_1$ )	Nominal Çalışma Frekansı (Hz)	Maksimum Çalışma Frekansı (Hz)
2	37.5	125
4	75	250
6	112.5	375
8	150	500

Frekans yükseldikçe motorda demir kayıpları, eddy akımı kayıpları gibi frekansa bağlı kayıplar yükselmektedir. Bunun yanında sürücü tarafında da anahtarlama kayıpları artmaktadır. Bu nedenle ve istenen güç değeri göz önünde bulundurularak motorun kutup sayısı  $2p_1 = 4$  olarak belirlenmiştir.

## 2.4. Motorun Tasarımı ve Analizi

Motor tasarımına başlanmadan önce Çizelge 1’ de belirtilen performans değerlerine ek olarak elektriksel ve manyetik kısıtların da belirlenmesi gerekmektedir. Tasarımda kullanılacak bu değerler Çizelge 3’ de gösterilmiştir. Motor su soğutmalı olduğundan akım yoğunlukları fan soğutmalı motor tasarımındaki değerlere göre daha yüksektir.

Çizelge 3. Belirlenen maksimum parametre değerleri

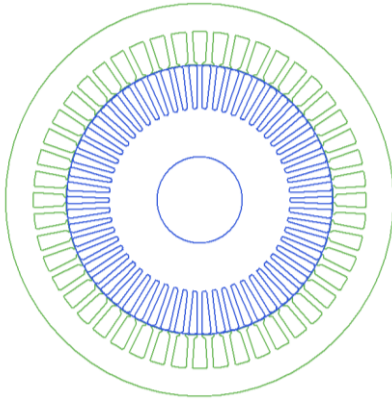
Parametre	Maks. Değer
Stator Akım Yoğunluğu	10 A/mm <sup>2</sup>
Rotor Akım Yoğunluğu	6 A/mm <sup>2</sup>
Kısadevre Bileziği Akım Yoğunluğu	4 A/mm <sup>2</sup>
Nüve dişlerindeki Akı Yoğunluğu	2.2 T

Tasarımda kullanılan nominal gerilim değeri bataryanın en düşük gerilim değeri olan 210V şeklinde seçilmiştir. Böylece motor, en düşük batarya geriliminde bile istenen tork değerini sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca motor

tasarımında nominal ve maksimum güç değerleri arasında dengeli bir elektriksel tasarım gerçekleştirilmeye dikkat edilmiş ve akım yoğunluğu gibi motor termal performansını doğrudan etkileyen değerler nominal çalışma için izin verilen maksimum değerlerine yakın seçilmiştir. Böylece motordan çekilebilecek maksimum gücün süresinin olabildiğince uzun olması hedeflenmiştir.

Çizelge 1 ve Çizelge 3' te belirtilen değerlere bağlı olarak motorun boyutları belirlenmiştir. Motorun boyutları belirlenirken çıkış katsayısı yöntemi kullanılmıştır [8,9]. Belirlenen ön tasarım değerlerine bağlı olarak motorun boyutlandırması, stator ve rotor tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak laminasyon malzemesinin kalınlığı 0.35mm, manyetik doyma değeri 2.3T ve demir kaybı 2.5 W/kg (1.5 Tesla 50 Hz için) olarak seçilmiştir. Rotor çubuk malzemesi alüminyumdur. Nominal çalışma frekansında uygun stator-rotor oluk kombinasyonunun belirlenmesi için analizler yapılmış ve stator-rotor oluk sayısı 48-58 şeklinde seçilmiştir.

Gerçekleştirilen analitik ve manyetik analiz sonuçlarına bağlı olarak tasarımda iyileştirmeler yapılmıştır. Analitik ve manyetik tasarım için Ansoft RMxprt [10] ve Maxwell 2D [11] bilgisayar paket programları kullanılmıştır. Tasarlanan elektrik motorunun laminasyon geometrisi ve geometriye ilişkin parametreler sırasıyla Şekil 2 ve Çizelge 4' de gösterilmiştir.

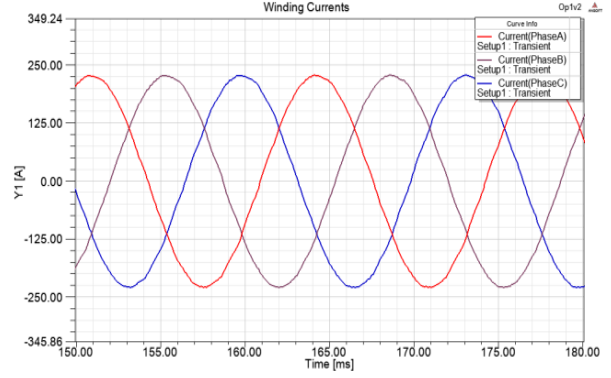


Şekil 2. Stator ve rotor geometrisi

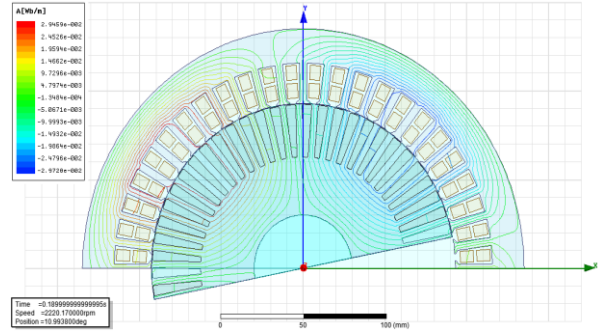
Çizelge 4. Laminasyon geometrisine ait parametreler

Parametre	Stator	Rotor
Oluk sayısı	48	58
Nüve dış çapı	270mm	185.4mm
Nüve iç çapı	186mm	60mm
Paket boyu	190 mm	

Motor sargılarına nominal çalışma durumu için analitik olarak hesaplanan ve Şekil 3' de gösterilen akımlar uygulandığında elde edilen akı çizgileri dağılımı Şekil 4' de gösterilmiştir.

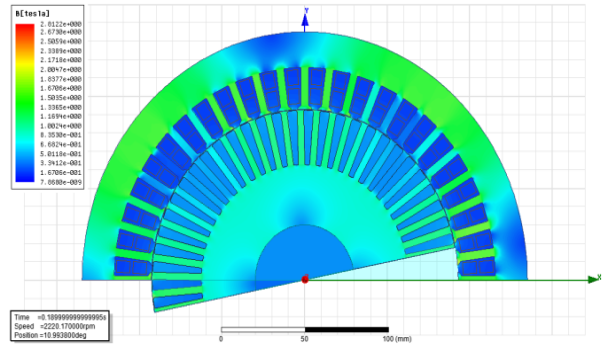


Şekil 3. Nominal çalışma durumunda sargı akımları



Şekil 4. Nominal çalışma durumunda akı çizgileri dağılımı

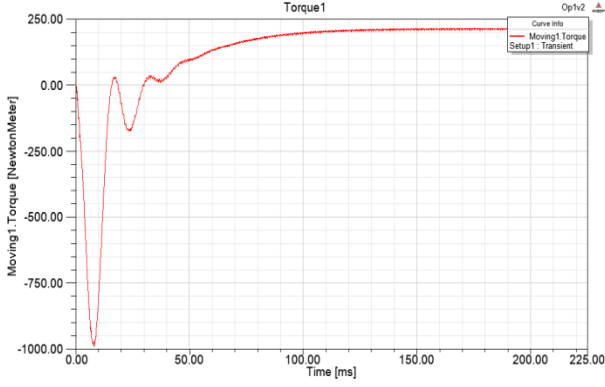
Görüldüğü gibi akı çizgileri düzgün bir şekilde dağılmakta ve istenen sargı kutupları oluşmaktadır. Nominal çalışma durumunda motor nüvesinde manyetik akı yoğunluğu dağılımı Şekil 5' te gösterilmiştir.



Şekil 5. Nominal çalışma durumunda akı yoğunluğu dağılımı

Görüldüğü gibi genel olarak akı yoğunlukları 2T değerini aşmamaktadır. Oluk ağızları gibi dar bölgelerde yer yer aşmalar görülse de bunlar kullanılan malzemenin manyetik doyma değeri olan 2.3T değerinin altındadır.

Nominal çalışma durumunda elde edilen moment eğrisi ise Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. Nominal çalışma durumunda tork eğrisi

Görüldüğü gibi nominal çalışma durumunda tork değeri istenen nominal tork değeri olan 216N değerine ulaşmaktadır. Tork grafiğindeki titreşim değeri kabul edilebilen ölçüler içindedir. Son olarak nominal çalışma için motor tasarımına ilişkin genel analiz sonuçları Çizelge 5' te verilmiştir.

Çizelge 5. Genel analiz sonuçları

Parametre	Değer
Mekanik Giriş Gücü	53855 W
Nominal Mil Momenti	216.2 Nm
Elektriksel Çıkış Gücü	50012 W
Sator Güç Faktörü ( $\cos \phi$ )	0.91
Bakır ve Alüminyum Kayıpları	2145 W
Demir Kayıpları	336 W
Mekanik Kayıplar	624 W
Parazit Kayıpları	750 W
Verim	%92.8
Sator Akım Yoğunluğu	6.36 A/mm <sup>2</sup>
Rotor Akım Yoğunluğu	3.40 A/mm <sup>2</sup>
Kısadevre Bileziği Akım Yoğunluğu	3.10 A/mm <sup>2</sup>
Nominal Çalışma Frekansı	75 Hz
Nominal Çalışma Devri	2225 rpm
Devrilme Momenti Oranı	3.96
Maksimum Çalışma Devri $\approx$	8500 rpm

Çizelge 5' ten görüldüğü gibi hedeflenen güç, tork ve verim değerleri elde edilmiştir. 210V nominal giriş gerilimi ve 50kW nominal güç değeri için motorun sahip olduğu devrilme momenti ve maksimum çalışma hızı değerleri tasarım isterlerini karşılamaktadır. Bunun yanında akım yoğunlukları tasarım kriterlerinde belirtilen değerlerin altındadır. Böylece tasarlanan motor, elektriksel ve manyetik olarak istenen tüm tasarım kriterlerini sağlamaktadır.

Çizelge 5' ten görüldüğü gibi akım yoğunlukları tasarımda izin verilen maksimum değerlerinden düşüktür. Bunun nedeni maksimum güç ihtiyacı gözönünde bulundurularak dengeli bir tasarım gerçekleştirilmesinin istenmesidir. Nominal çalışma durumu için tasarım sınır değerlerini zorlamak maksimum güç ihtiyacı durumunda artacak akım yoğunluğu değerine bağlı olarak motordan maksimum güç çekebilme süresini kısalmaktadır. Bu durum bir sonraki bölümde incelenmiştir.

## 2.5. Gerilim, Frekans ve Güç Değişimine Bağlı Olarak Motor Performansının İncelenmesi

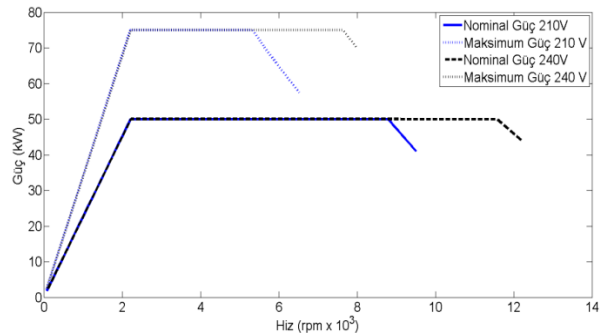
Elektrikli araç uygulamalarında anlık sürüş performans isteklerine bağlı olarak motorun frekansı ve tork değeri sürekli değişmektedir. Bu değişkenlere ek olarak araç içindeki batarya modülünün sağlayabildiği gerilim de güç tüketimine bağlı olarak giderek azalmaktadır. Motor tasarımı gerçekleştirilirken bu üç temel değişkene bağlı olarak değişik çalışma noktalarında motor verilerinin özellikle belirlenen tasarım kısıtlarının içinde kalması istenir. Çizelge 6' da gerilimin ve çıkış gücünün nominal değerden maksimum değerlerine değişmesi durumunda elde edilen performans değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6. Nominal ve maksimum gerilim-güç çalışma durumunda performans verilerinin değişimi

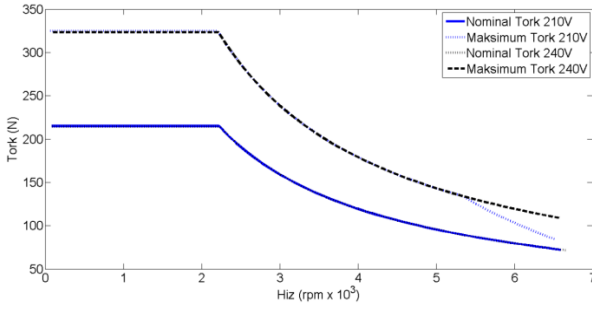
V <sub>s</sub> (V)	P <sub>o</sub> (kW)	B <sub>t</sub> (T)	B <sub>ag</sub> (T)	J <sub>s</sub> (A/mm <sup>2</sup> )	J <sub>r</sub> (A/mm <sup>2</sup> )	Verim (%)
210	50	1.75	0.62	6.36	3.4	92.85
210	75	1.73	0.61	9.43	5.2	91.58
240	50	2.05	0.72	7.44	2.99	91.99
240	75	2.03	0.71	9.53	4.54	91.81

Çizelge 6' da V<sub>s</sub> giriş gerilimini, P<sub>o</sub> çıkış gücünü, B<sub>t</sub> dişlerdeki akı yoğunluğunu, B<sub>ag</sub> hava aralığındaki akı yoğunluğunu, J<sub>s</sub> sator sargıları akım yoğunluğunu ve J<sub>r</sub> rotor çubukları akım yoğunluğunu göstermektedir. Görüldüğü gibi giriş gerilimi ve istenen çıkış gücü ihtiyacı nominal değerlerinden maksimum değerlerine değişmesi halinde tasarlanan motorun gerek elektriksel gerekse manyetik değerleri tasarım sınırlarının içinde kalmaktadır. Bu durum dengeli bir motor tasarımı gerçekleştirildiğini göstermektedir. Böylece ihtiyaç duyulduğu anlarda motordan maksimum güç daha uzun bir süre boyunca motoru zorlamadan sağlanabilecektir. Bu durum motorun termal performansını iyileştirmede yardımcı olmaktadır.

Motor, akı zayıflatma yöntemi ile kontrol edilecektir. Bu durumda minimum-maksimum gerilim değerleri ve nominal-maksimum güç değerleri gözönünde bulundurularak motor dönüş hızına bağlı olarak elde edilen çıkış gücü ve tork eğrileri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8' de gösterilmiştir. Motorun belirtilen gerilim ve güç değerlerine bağlı olarak elde edilen devrilme momenti oranları ve yaklaşık maksimum çalışma hız değerleri Çizelge 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Akı zayıflatma kontrolü durumunda hıza bağlı motor çıkış gücü değişimi



Şekil 8. Akı zayıflatma kontrolü durumunda hıza bağlı motor torku değişimi

Çizelge 7. Motor devrilme momenti oranı ve maksimum hız değerleri

Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gücü (kW)	Devrilme Momenti Oranı	≈ Maksimum Hız (rpm)
210	50	3.96	8500
210	75	2.61	5500
240	50	5.20	11200
240	75	3.45	7200

Görüldüğü gibi giriş gerilimi değişimine bağlı olarak 50kW sürekli güç değeri için motorun maksimum çalışma hızı değerleri tasarım isterlerini karşılamaktadır. Batarya gerilimine bağlı olarak 240V maksimum giriş geriliminin uygulanabildiği durumda ise 11200 rpm çalışma hızına ulaşılabilmektedir. Maksimum çıkış gücü ihtiyacı durumu için bakıldığında batarya gerilimine bağlı olarak maksimum çalışma hızı 5500-7200 rpm arasında değişmekte ve böylece motor geniş bir çalışma hız aralığında maksimum tork ihtiyacını karşılayabilmektedir.

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada elektrikli araç tahrik sistemlerinde kullanılacak 75kW gücünde bir asenkron motorun tasarımı ve analiz sonuçları gösterilmiştir. Öncelikle motorun performans istekleri ve batarya gibi diğer alt sistemlere bağlı kısıtları belirlenmiş ve bu istek ve kısıtlar gözönünde bulundurularak motorun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bilgisayar destekli analitik ve manyetik analizler sonucu tasarlanan motorun belirlenen kısıtlara uygun şekilde nominal çalışma durumunda istenen performans değerlerini sağladığı gösterilmiştir. Motorun değişen gerilim, güç ve frekans değerlerine bağlı olarak performansı da ayrıca incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu analizler ile motorun bu değişimlere bağlı olarak performansını koruyacak şekilde dengeli bir tasarım gerçekleştirildiği ve motor verilerinin belirlenen elektrik ve manyetik tasarım sınırlarını aşmadığı gösterilmiştir.

### 4. Teşekkür

Bu çalışma 5132703 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

### 5. Kaynaklar

[1] Nerg, J., Rilla, M., Ruuskanen, V., Pyrhonen, J., Ruotsalainen, S., "Design of direct-driven permanent magnet synchronous motors for an electric sports car",

*XXth International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 2012, sayfa 177-182.

- [2] Chin, Y. K. ve Soulard, J., "A permanent magnet synchronous motor for traction applications of electric vehicles", *IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC'03*, 2003, cilt 2, sayfa 1035-1041.
- [3] Byunghwan, K., Jeongho, L., Youngho, J., Byunghee, K., Kinam, K., Yeonho, K., Youngju, P., "Development of 50kW traction induction motor for electric vehicle (EV)", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, 2012, sayfa 142-147.
- [4] Pellegrino, G., Vagati, A., Boazzo, B., Guglielmi, P., "Comparison of Induction and PM Synchronous Motor Drives for EV Application Including Design Examples", *IEEE Transactions on Industry Applications*, cilt 48, no.6, sayfa 2322-2332, 2012.
- [5] Riley, C.P., Sawant, N.P., Ilea, D., Venskus, A., Bedford AM., Michaelides, AM., Vinamata, X., Topping, P.J., Soler-Vizan, JM., Odvarka, E., Wale, JD., Hawke, DJ., Reeve, JM., "Simulation based design of reluctance motors for traction applications in hybrid and electric vehicles", *7th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2014)*, 2014, sayfa 1-6.
- [6] Jack, AG., Mecrow, BC., Weiner, C., "Switched reluctance and permanent magnet motors suitable for vehicle drives-a comparison", *International Conference on Electric Machines and Drives, IEMD '99*, 1999, sayfa 505-507.
- [7] Xue, X.-D.; Cheng, KWE., Cheung, NC., "Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles", *Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC '08*, 2008, sayfa 1-6.
- [8] Boldea I., and Nasar S. A., *The Induction Machines Design Handbook*, Taylor & Francis Group, 2010
- [9] Ulu C. and Komurgoz G., "Design of a 500kW Doubly Fed Induction Generator for Wind Turbine Applications", *IASTED International Conference on Power and Energy (PE 2013)*, 2013, sayfa 98-103.
- [10] ANSYS RMXprt v14, ANSYS, Inc.
- [11] ANSYS Maxwell 2D v14, ANSYS, Inc.