

MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402

EYLÜL/SEPTEMBER 2016 SAYI/NUMBER : 680



tmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı

www.mmo.org.tr/muhendismakina

makale

42

UÇAK KUYRUK TÜRBÜLANS KATEGORİLERİNDE YENİLİKLER VE HAVA TRAFİK YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ
NOVEL APPROACH TO WAKE TURBULENCE CATEGORIES AND EFFECTS ON AIR TRAFFIC MANAGEMENT
Alper ÖREN, Özlem ŞAHİN

51

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ÖĞRENİMİ VE YENİLEŞİMCİLİK
MECHANICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE PROGRAMS AND INNOVATION
Burhan ÇUHADAROĞLU

59

VIDA-SOMUN MEKANİZMALARININ DİKEY TAŞIMA PLATFORMLARINDA KULLANIMINA YÖNELİK TAŞARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ
EXAMINATION OF THE DESIGN PARAMETERS FOR THE USE OF SCREW-NUT MECHANISM IN VERTICAL LIFT PLATFORM
Oral BİLİCİ, Hakan ERŞOY



UÇAK KUYRUK TÜRBÜLANS KATEGORİLERİNDE YENİLİKLER VE HAVA TRAFİK YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Alper Ören*

Hava Astsubay Meslek Yüksekokulu,
Teknik Programlar Bölüm Başkanlığı,
Hava Trafik Kontrol Programı,
İzmir
alperoren@hotmail.com

Özlem Şahin

Yrd. Doç. Dr.,
Anadolu Üniversitesi,
Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
Hava Trafik Kontrol Bölümü,
Eskişehir
osahin5@anadolu.edu.tr

ÖZ

Pist kapasitesinin, iniş ve kalkış yapan uçaklar arasındaki kuyruk türbülansı ayırma değerleri ile bağlantılı olması nedeniyle, Avrupa Hava Seyrüsefer Güvenliği Teşkilatı (EUROCONTROL-The European Organization for The Safety of Air Navigation) ve Federal Havacılık Dairesi (FAA-Federal Aviation Administration) şu an kullanılan Uluslararası Sivil Havacılık Teşkilatı (ICAO-International Civil Aviation Organization) kuyruk türbülansı ayırma değerlerinin emniyetli; fakat aşırı muhafazakar olduğunu düşünmektedir. Bu amaçla, kuyruk türbülansı kategorileri ve ilgili ayırma değerlerinin tekrar düzenlenmesi (RECAT/Re-Categorization) çalışmalarına başlanılmış ve halen önemini sürdürerek devam ettirilmektedir.

Bu çalışmada, RECAT gereksinimi ve ortaya çıkış süreci ile beraber yenilenen ayırma değerleri incelenecek, hava trafik yönetimi açısından değerlendirilecek ve konunun hava sahası kullanıcıları için faydaları ve uygulamaya geçiş süreci tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hava trafik yönetimi, kuyruk türbülansı, pist kapasitesi

NOVEL APPROACH TO WAKE TURBULENCE CATEGORIES AND EFFECTS ON AIR TRAFFIC MANAGEMENT

ABSTRACT

The runway capacity depends on the wake turbulence categories and separation standards of arriving/departing aircraft. Currently, ICAO wake turbulence separation standards are applied all around the world. According to EUROCONTROL and FAA, current separation standards are safe but, on the other hand they are over conservative. Therefore, they have developed re-categorization of ICAO wake turbulence categories and called "RECAT".

In this paper, the process and the requirement of RECAT are described. Afterwards, wake turbulence re-categorization and separation standards are reviewed and their effects are introduced from the point of air traffic management. Finally, the benefits and application of RECAT in terms of airspace users are discussed.

Keywords: Air traffic management, wake turbulence, runway capacity

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 25.03.2016

Kabul tarihi : 06.10.2016

Ören, A., Şahin, Ö. 2016. "Uçak Kuyruk Türbülansı Kategorilerinde Yenilikler ve Hava Trafik Yönetimi Üzerindeki Etkileri," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 680, s. 42-50.

1. GİRİŞ

Kuyruk türbülansı, hava aracının uçmak için ürettiği taşıma kuvvetinin sonucu olarak kaçınılmaz şekilde oluşmaktadır [1]. Kalkış, yaklaşma ve iniş safhalarında birbirini takip eden uçaklar için kuyruk türbülansı muhtemel bir tehlike faktörüdür ve uçaklar arasındaki ayırmayı etkileyen en önemli kısıtlardan birisidir. Bu nedenle ICAO, emniyetli uçuş operasyonlarını sağlamak amacıyla yaklaşma, iniş ve kalkış safhaları için öndeki ve onu izleyen arkadaki uçak arasında olması gereken ayırma değerlerini belirlemiştir [1]. Hava trafiğinin yönetiminde bu ayırma kuralları kontroller tarafından uygulanmaktadır.

Bilindiği üzere, hava trafik talebi giderek artış göstermektedir. Artan trafik talebinin karşılanması için mevcut havaalanı kapasitenin artırılması gerekmektedir. Yaşanan kapasite problemleri gerek küresel, gerekse bölgesel boyutta havayolları ve havaalanı operatörleri için çözüme kavuşturulması gereken bir konu haline gelmiştir [2].

Havaalanı kapasitesini kısıtlayan en temel faktör pisttir. Bu nedenle, pist kapasitesinin etkin ve verimli şekilde kullanılması önemlidir [4].

Pist kapasitesi, belirli şartlar altında, bir pistin veya pist kombinasyonlarının kabul edilebilir derecede ve emniyet prensibini ihlal etmeyecek şekilde hizmet verebileceği saatteki uçak operasyon (kalkış, iniş ya da bunların kombinasyonları) sayısı olarak tanımlanmaktadır [2].

Bir havaalanında pist ya da pist kombinasyonlarının saatlik kapasitesini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Pist düzenlemesi,
- Taksi yolu sistemi,
- Park sahaları ve kapılar,
- Pist kullanım süresi,
- İniş ve kalkış yapacak olan uçak kombinasyonları,
- Meteorolojik şartlar,
- İniş/Kalkış oranları,
- Sağlanan minimum ayırma değerleri,
- Hava trafik kontrol usulleri ve
- Gürültü azaltma yöntemleridir [3].

Pist kapasitesinin etkili ve en verimli kullanımı ise doğrudan uçaklar arasındaki minimum ayırma değerleri ile bağlantılıdır [4]. Uçaklar arasında olması gereken minimum ayırma değerleri ve kuyruk türbülansı ayırma kriterleri, hava sahası tasarımı ve uçak performansları dikkate alınarak ICAO Hava Seyrüsefer Hizmetleri için Prosedürler- Hava Trafik Yönetimi (Procedures for Air Navigation Services — Air Traffic Management -PANS-ATM, Doc 4444) dokümanında verilmiştir.

Yapılan istatistiksel çalışmalar ve gelecek tahminlerine göre, 2025 yılında hava trafiğinin şu anki trafiğe göre iki kat büyüyeceği öngörülmektedir [7]. Günümüzde özellikle yoğun havaalanlarının pist kapasitesi genellikle uçaklar arasındaki olması gereken iniş/kalkış ayırma kuralları ile kısıtlanması nedeniyle [1], kapasite problemlerinin çözülmesinde mevcut kuyruk türbülansı ayırma standartlarının kabul edilebilir emniyet seviyesinde değiştirilmesi çözüm yöntemlerinden birisi olarak düşünülmektedir [8]. 2005 yılında FAA ve EUROCONTROL, kuyruk türbülansı kategorilerinin yeniden belirlenmesi (RECAT) yönünde proje çalışmalarına başlamıştır.

Uçuşun iniş ve kalkış safhaları dikkate alındığında, kuyruk türbülansı kategorileri ve kuyruk türbülansı ayırma kriterleri özellikle Avrupa ve Amerika bölgeleri arasında, önemli derecede farklılıklar göstermektedir.

ICAO, kuyruk türbülansı kategorilendirmesini, uçakların onaylanmış maksimum kalkış ağırlıklarını dikkate alarak üçe ayırmıştır. Maksimum kalkış ağırlığı 136.000 kg veya üzerindeki tüm uçak tipleri için **Ağır (Heavy)**, 136.000 kg'dan az 7.000 kg'dan fazla uçak tipleri için **Orta (Medium)**, 7.000 kg veya daha az olan uçak tipleri için **Hafif (Light)** olarak kategorilendirmektedir [5]. ICAO'nun yaklaşma ve iniş safhalarında kullanılmasını önerdiği kuyruk türbülansı ayırmaları Tablo 1'de verilmiştir. Aşağıdaki durumlarda Tablo 1'de verilen değerler aynen uygulanacaktır:

- Bir uçak diğer bir uçak ile aynı seviyede ya da 1000 ft'ten (300m) daha az altta uçuyorsa
- Her iki uçak aynı pistten ya da birbirlerine olan uzaklıkları 760 m'den az olan paralel pistlerden kalkıyorsa
- Bir uçak diğer bir uçağın rotasını aynı irtifada arkadan ya da 1000 ft'ten (300m) daha az alttan kat ediyorsa

Airbus A380 tipi uçağın havacılıkta yerini alması bir dönüm noktası olarak değerlendirilmiş ve kuyruk türbülansı kategorileri yeniden tasarlanmıştır. Tablo 1'de yer alan kategori ve ayırma değerlerine ilave olarak dördüncü bir kategori olan Süper (Super) eklenmiştir. Airbus A380 uçağının da dâhil ol-

Tablo 1. ICAO Kuyruk Türbülansı Ayırması (Airbus A380 Öncesi) [5]

		ARKADAKİ UÇAK (NM)		
		Ağır	Orta	Hafif
ÖNDEKİ UÇAK (NM)	Ağır	4	5	6
	Orta	MRS	MRS	5
	Hafif	MRS	MRS	MRS

duğu ayırma değerleri ise Tablo 2’de gösterilmektedir. Tablo 2’de, operasyonel şartlara bağlı olan minimum ayırma değeri (MRS-Minimum Radar Separation) 3 NM olarak kabul edilmektedir. Kuyruk türbülans ayırmalarına ihtiyaç olmaması durumunda ICAO tarafından 3 NM olarak tanımlanan MRS değerleri aşağıda yer alan durumlar karşısında 2,5 NM mesafeye kadar azaltılmaktadır. Bu şartlar aşağıdaki gibidir:

- Teorik bir modele dayalı olarak veri toplama ve istatistiksel analiz ve yöntemler gibi şekillerde iniş yapan bir uçağın ortalama pist kullanım süresinin 50 saniyeyi aşmayacağı kanıtlanmışsa;
- Pist frenleme durumu iyi olarak raporlanmış ve pist kullanım süreleri, sulu kar, kar ya da buz gibi pist yüzeyini etkileyici maddeler tarafından olumsuz biçimde etkilenmiyorsa;
- Uygun azimut açılı ve geniş çözünürlüklü bir radar sistemi ile 5 saniyelik ya da daha az bir güncelleme oranı, uygun radar ekranları ile yeterli kombinasyon içerisinde kullanılıyorsa;
- Hava trafik kontrolörü, görsel olarak ya da yüzey hareket radarı veya bir yüzey hareket rehberi ve kontrol sistemi aracılığıyla, kullanılan pisti ve ilgili taksi yolları çıkış ve girişini gözleyebiliyorsa;
- Uçakların son yaklaşma hızları, hava trafik kontrolörü tarafından yakından izleniyor ve gerekli görüldüğünde, ayırmanın minimumun altına düşürülmemesini sağlamak üzere düzeltiliyorsa;
- Uçak operatörleri ve pilotlar, son yaklaşımda her ne zaman azaltılmış ayırma minimumu uygulanıyorsa, süratli bir şekilde pistten çıkmaları gerektiğinin tamamen farkındalarsa;
- Azaltılmış minimum uygulamasına ilişkin prosedürler, Türkiye Havacılık Bilgi Yayını’nda (AIP- Aeronautical Information Publication) yayımlanıyorsa [5].

FAA ise kuyruk türbülans kategorilendirilmesini, uçakların onaylanmış maksimum kalkış ağırlıklarını dikkate alarak

Tablo 2. Güncel ICAO Kuyruk Türbülans Ayırması [5]

ÖNDEKİ UÇAK (NM)	ARKADAKİ UÇAK (NM)			
	Süper	Ağır	Orta	Hafif
Süper	MRS	6	7	8
Ağır	MRS	4	5	6
Orta	MRS	MRS	MRS	5
Hafif	MRS	MRS	MRS	MRS

Tablo 3. Güncel FAA Kuyruk Türbülans Ayırması [6]

ÖNDEKİ (NM)	ARKADAKİ (NM)				
	Süper	Ağır	B757	Büyük	Küçük
Süper	MRS	6	7	7	8
Ağır	MRS	4	5	5	6
B757	MRS	4	4	4	4
Büyük	MRS	MRS	MRS	MRS	4
Küçük	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS

beşe ayırmıştır. Buna göre, maksimum kalkış ağırlığı 136.000 kg veya üzerindeki tüm uçak tipleri **Ağır (Heavy)** olarak kategorilendirilmektedir. Ancak Airbus A380 ve Antonov AN225 tipi uçaklar için Ağır kategorinin üzerinde ICAO kategorilendirilmesinde olduğu gibi yeni bir kategori yaratılmış ve **Süper (Super)** adını almıştır. 136.000 kg’dan az 7.000 kg’dan fazla uçak tipleri **Büyük (Large)** olarak kategorilendirilmektedir. FAA ile ICAO kategorileri arasındaki en temel farklılıklarından birisi Boeing B757 uçak tipi için geçerlidir. Her ne kadar Boeing B757, **Büyük (Large)** kategorisinde yer alsada FAA ara bir kategorilendirme yaparak Boeing B757 uçağını ayırmıştır. 7.000 kg veya daha az olan uçak tipleri ise **Küçük (Small)** olarak kategorilendirilmektedir [9]. FAA’nın yaklaşma ve iniş safhalarında kullanılmasını önerdiği kuyruk türbülans ayırmaları Tablo 3’te verilmiştir.

Tüm bu geleneksel kategoriler ve bu kategoriler arasındaki ilgili ayırma değerleri, yaklaşık olarak 40 yıl öncesinde yayımlanmış ve halen günümüzde geçerliliğini korumaktadır; fakat bu aşırı muhafazakâr ayırma değerlerinin yoğun havaalanlarında kapasiteyi kısıtladığı görülmektedir. Bu nedenle, kuyruk türbülans kategorilerinin yenilenmesi ve ilgili ayırma değerleri için yapılan değişiklikler izleyen bölümlerde incelenecektir.

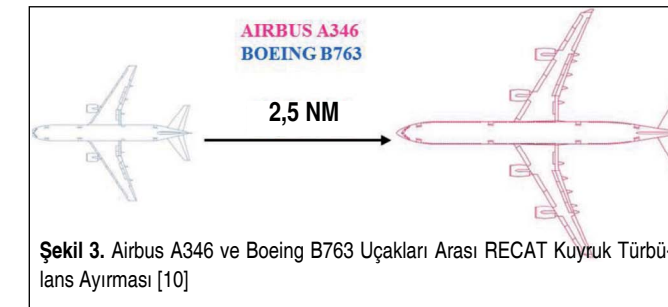
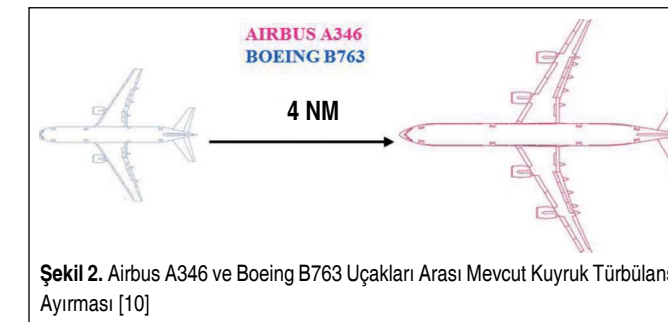
2. UÇAK KUYRUK TÜRBÜLANS KATEGORİLERİNİN YENİLENMESİ

Uçakların kuyruk türbülans kategorilerinin yeniden belirlenmesi ve ilgili kuyruk türbülans ayırma değerlerinin yenilenmesi (RECAT) ile havaalanlarının, bununla beraber pist ve pist kombinasyonlarının iniş ve kalkış kapasitesinin emniyetli şekilde artırılması amaçlanmaktadır [10].

Maksimum kalkış ağırlığı 156.000 kg olan Airbus A388 (Airbus A380-800) tipi uçağın hava trafik yönetim sürecine dahil olmasıyla birlikte, kuyruk türbülans ayırma tasarımında yeni bir yaklaşım getirilmiştir. En geniş ve ağır yolcu uçağı olan Airbus A380 uçağının üretmiş olduğu kuyruk türbülansı gerçekte, **Ağır (Heavy)** kuyruk türbülansı kategorisindeki

bir uçağa göre daha fazladır. Öte yandan halen kullanımda olan ya da üretim aşamasında olan uçakların da geleneksel anlamda kuyruk türbülans kategorilendirilmesi, hava sahası yönetiminde geleneksele bağlı kalınmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, 40 yıl öncesine dayanan geleneksel ICAO kuyruk türbülans kategorilendirme ve ayırma değerlerinin yeniden gözden geçirilerek yenilenmesine ve bu kapsamda ICAO, EUROCONTROL, FAA, EASA ve AIRBUS temsilcilerden meydana gelen bir çalışma grubu oluşturulmasına karar verilmiştir [11].

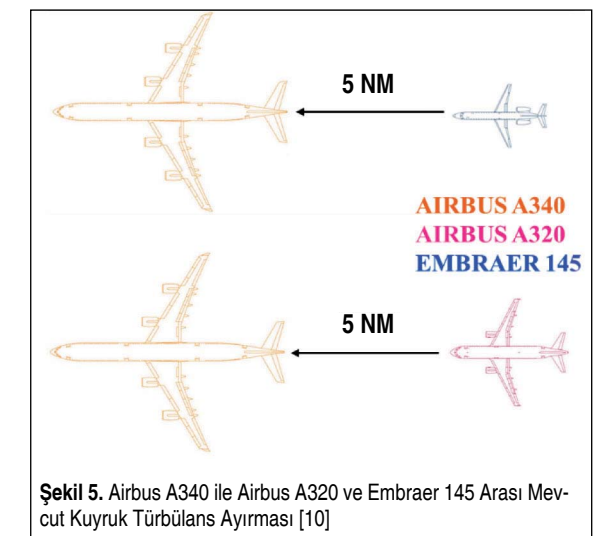
Uçakların yeniden kategorilendirilmesinde MTOW ve kanat açıklığı gibi fiziksel özellikleri ile yaklaşma hızı gibi performans özellikleri kullanılmıştır [7]. Mevcut durumda halen geçerli olan ICAO kategorilerinde **Ağır (Heavy)** kategorisinde yer alan Airbus A346 uçağının kanat açıklığı ile Boeing B763

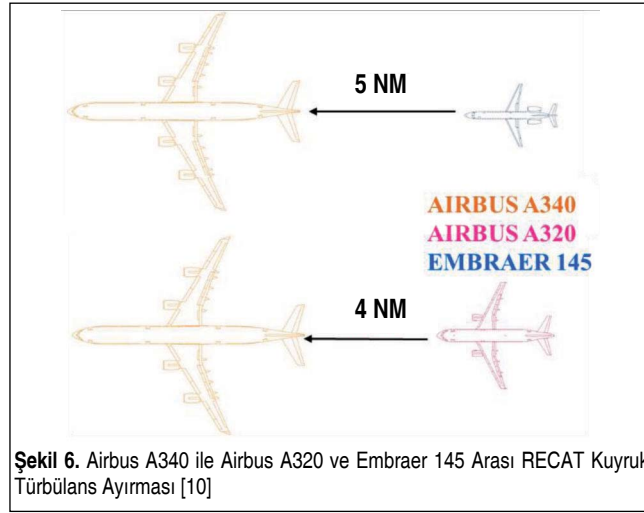


uçağının kanat açıklığı karşılaştırıldığında, aralarındaki farkın 15 metre civarında olduğu Şekil 1’de görülmektedir.

Boeing B763 uçağının öndeki uçak olması durumunda, ICAO ayırma kurallarına göre Şekil 2’de gösterildiği gibi, 4 NM’lik bir ayırma uygulanması gerekir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, ayırma değerleri aşırı muhafazakâr olarak görülmekte ve bununla beraber pist kapasitesi kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Halbuki RECAT’e göre aynı durum için ayırma değeri Şekil 3’te 2.5 NM olarak belirlenmiş ve bu durum hem emniyetli hem de verimli olarak değerlendirilmiştir [10].

Başka bir örnek vermek gerekirse, hem Airbus A320 uçağı hem de Embraer 145 uçağı ICAO kuyruk türbülans kategorilendirmesinde **Orta (Medium)** kategorisinde yer alan Airbus A320 uçağının kanat açıklığı ile Embraer 145 uçağının kanat açıklığı karşılaştırıldığında, aralarındaki farkın 12 metre civarında olduğu Şekil 4’te görülmektedir [10].





Şekil 6. Airbus A340 ile Airbus A320 ve Embraer 145 Arası RECAT Kuyruk Türbülans Ayırması [10]

Mevcut ICAO kuyruk türbülans ayırmasında Airbus A340 uçağının arkasından Airbus A320 uçağı ya da Embraer 145 uçağı gelmesi durumunda, ayırma değeri Şekil 5'te gösterildiği gibi 5 NM olmalıdır [10].

RECAT'a göre ise Airbus A340 uçağı ile Airbus A320 uçağı arasında ayırma değeri Şekil 6'da gösterildiği gibi 4 NM, Embraer 145 uçağı arasında ise 5 NM ayırma değeri olması hem emniyetli hem de daha verimlidir [10].

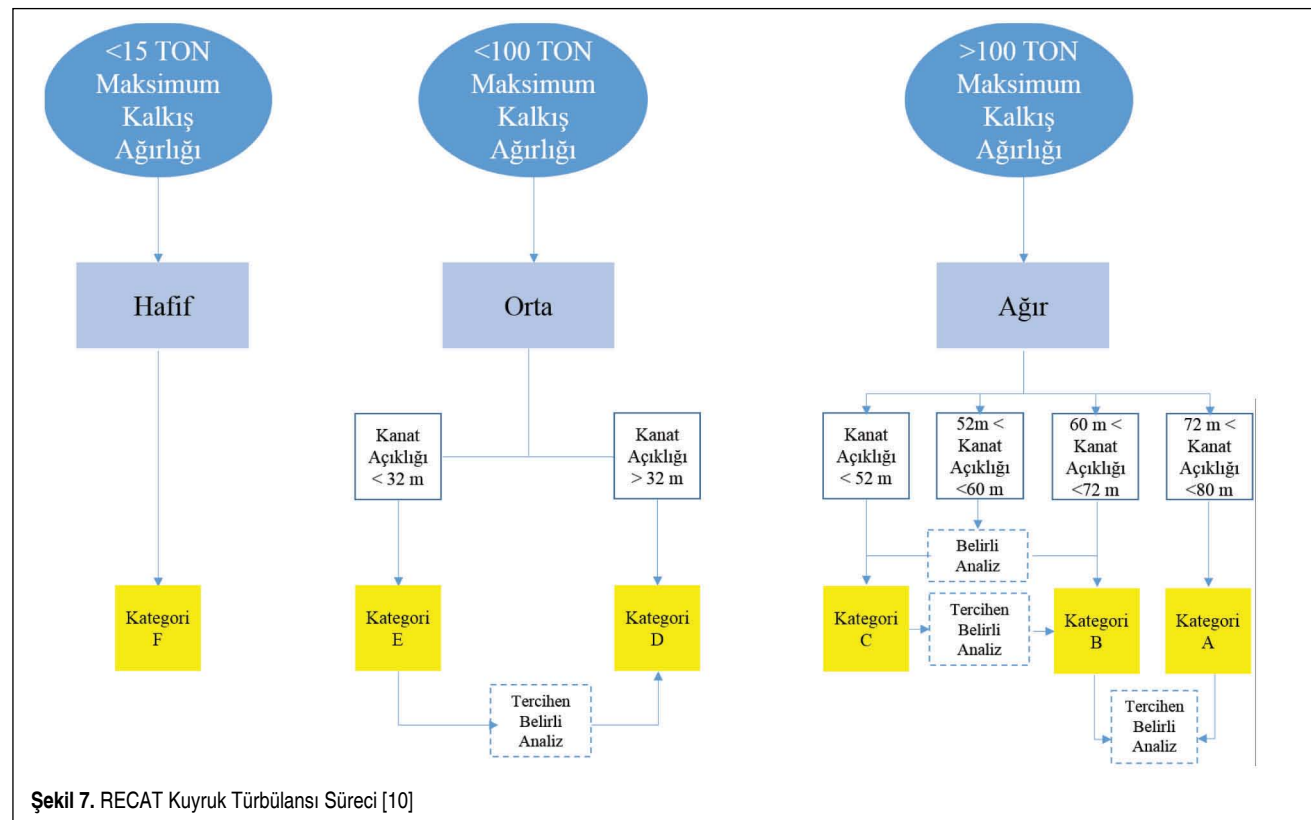
Yukarıda açıklanan durumları göz önünde bulundurarak, hava trafik akışında oluşmaya başlayan kapasite sıkışıklığını gider-

mek için meydana getirilen çalışma grubu tarafından bir AR-GE projesi başlatılmıştır. Bu kapsamda, kuyruk türbülans risk değerlendirmesi, ölçümler ve analizler yapılarak farklı uçak kanat geometrileri ve son yaklaşma hızlarının incelenmesine karar verilmiştir. Verilerin toplanması sürecinde, Heathrow (EGLL) ve Frankfurt (EDDF) havalimanları pilot bölge olarak seçilmiş ve durum çalışmaları yapılmıştır [10].

RECAT ile, en geniş kanat açıklığından en küçük kanat açıklığına doğru sırasıyla Kategori A-B-C-D-E ve F olmak üzere Şekil 7'de gösterilen toplam altı adet yeni kuyruk türbülans kategorisi meydana getirilmiştir. RECAT'ta Airbus A380 tipi uçak için Süper Ağır (Super Heavy) kategorisi mevcuttur. Bununla beraber, mevcut durumda yer alan Ağır (Heavy) ve Orta (Medium) kategorileri için ise Yüksek (Upper) ve Alçak (Lower) olmak üzere iki alt kategoriye ayrılmıştır. Mevcut ve yeni uçak tiplerinin kategorilendirilmesinde kullanılan kriterler ve örnek uçak tipleri Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmektedir.

RECAT kuyruk türbülans ayırma değerleri Tablo 4'te yer almaktadır.

EUROCONTROL tarafından yapılan düzenlemelerin paralelinde, eş zamanlı olarak da FAA da uçak kategorilendirmesini yeniden yapılandırmıştır. Benzer şekilde, en geniş kanat açıklığından en küçük kanat açıklığına doğru sırasıyla Kategori A-B-C-D-E ve F olmak üzere toplam altı adet yeni kuyruk



Şekil 7. RECAT Kuyruk Türbülans Süreci [10]



Şekil 8. RECAT Kuyruk Türbülans Örneği Uçak Tipleri [10]

Tablo 4. RECAT Kuyruk Türbülans Ayırması [10]

		ARKADAKİ UÇAK (NM)					
		Süper Ağır	Yüksek Ağır	Alçak Ağır	Yüksek Orta	Alçak Orta	Hafif
ÖNDEKİ UÇAK (NM)	Süper Ağır	3	4	5	5	6	8
	Yüksek Ağır		3	4	4	5	7
	Alçak Ağır		MRS	3	3	4	6
	Yüksek Orta						5
	Alçak Orta						4
	Hafif						3

Tablo 5. FAA RECAT Kuyruk Türbülans Ayırması [12]

		ARKADAKİ UÇAK (NM)					
		A	B	C	D	E	F
ÖNDEKİ UÇAK (NM)	A	MRS	5	6	7	7	8
	B	MRS	3	4	5	5	7
	C	MRS	MRS	MRS	3,5	3,5	6
	D	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	5
	E	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	4
	F	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS

Tablo 6. ICAO RECAT Kuyruk Türbülans Ayırması Değişimleri [10]

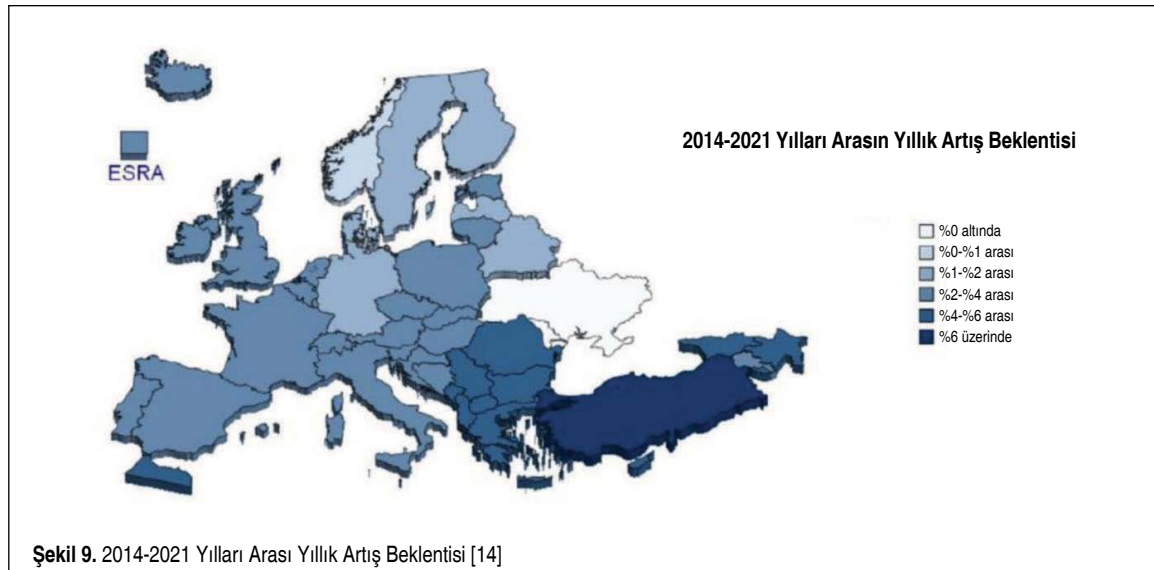
		ARKADAKİ UÇAK (NM)					
		Süper Ağır	Yüksek Ağır	Alçak Ağır	Yüksek Orta	Alçak Orta	Hafif
ÖNDEKİ UÇAK (NM)	Süper Ağır	+0,5	-2	-1	-2	-1	
	Yüksek Ağır		-1		-1		+1
	Alçak Ağır		-1 (-1,5)	-1	-2	-1	
	Yüksek Orta						
	Alçak Orta						-1
	Hafif						+0,5

3. RECAT UYGULAMASI VE YARARLARI

Havacılıkta artan talep karşısında yapılan ve gelecekte yapılması planlanan düzenlemelerin temelinde, gecikmeye bağlı kapasite yetersizliklerini azaltarak gerek hava sahasının, gerekse pistin en verimli şekilde kullanılması düşüncesi bulunmaktadır. EUROCONTROL tarafından hazırlanan 2014 yılı Performans İzleme Raporu (Performance Review Report - PPR) verilerine göre, trafik artışının Şekil 9'da gösterildiği biçimde olması beklenmektedir [14]. Bu kapsamda, artan trafik hacminin havaalanlarında yaşanan gecikmelerin sürelerini de arttıracakları öngörülmektedir.

Yaşanan gecikmeleri azaltarak kapasiteyi artırma çalışmaları kapsamında ortaya çıkan uçak kuyruk türbülans kategorilerinin yenilenmesi uygulamalarında ilk bulguların olumlu ve bununla birlikte geliştirmeye açık olduğu belirtilmiştir [15].

Öncelikle RECAT düzenlemesi ile beraber yapılan modelleme çalışmaları kapsamında uygulamanın gerçek hayata geçirilmesi ile beraber pist kapasitesinde operasyonel anlamda %5'e yakın artış yaşanması öngörülmektedir [10]. Bu yüzdelik artışın havaalanındaki trafik sayısına etkisi incelendiğinde ise yaklaşık olarak 20 adet daha fazla trafiğin günlük olarak hizmet alması beklenmektedir [16]. Benzer şekilde, düzenlemenin, özellikle uçuşun geliş ve kalkış safhalarında trafik sayılarında artış ve beraberinde toplam uçuş zamanlarında bir azalmanın meydana gelmesi beklenmektedir. Bu beklentinin hava trafik kontrolörlerine hava sahası yönetimi konusunda esneklik sağlaması da beklenmektedir [10]. RECAT düzenlemesi, Atlanta Uluslararası Havalimanı'nda (KATL) 2014 yılında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu uygulama sonucunda, terminal kontrol sahası içerisinde geliş trafiklerinde %5'e varan bir artış meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra, geliş trafikleri için kuyruk türbülansı ayırma değerlerinin azaltıl-

**Şekil 9.** 2014-2021 Yılları Arası Yıllık Artış Beklentisi [14]

ması, uçuş zamanlarında da bir azalma sağlamış ve uçak başına yaklaşık olarak 29 sn.lik bir kazanç elde edilmiştir. Delta Havayolları, Atlanta Uluslararası Havalimanı'nda yaşanan bu düzenlemelerin yılda yaklaşık olarak 13,9 milyon dolar ile 18,7 milyon dolar arasında bir maddi kazanç sağlayabileceğini belirtmiştir. Öte yandan FedEx yetkilileri, Memphis Uluslararası Havalimanı'nda (KMEM) RECAT düzenlemesinin kapasitede %17'lik bir artış sağlarken, emisyon hacminde ve gaz salınımında belirgin seviyede bir azalma sağladığını açıklamıştır [15].

Öte yandan 2016 yılının ilk çeyreğinde Paris Charles de Gaulle Havalimanı'nda (LFG) RECAT düzenlemesine geçilmesi ve Avrupa'nın bu alanda ilk havalimanı olması konusunda çalışmalar devam etmektedir [16].

RECAT düzenlemesinin hayata geçirilmesi kapsamında, operasyonel anlamda bazı gereksinimler ve alınması gereken bazı tedbirler mevcuttur. Ancak burada açıkça belirtilmesi gereken en önemli hususlardan biri, RECAT düzenlemesinin gerek hava araçlarında, gerekse hava seyrüsefer hizmetleri kapsamında kullanılan cihazlarda teknolojik anlamda bir modernizasyon çalışmasına gerek duymamasıdır. Gereksinimler ve alınması gereken tedbirler sadece emniyet anlamında bir değişim olarak algılanmalıdır. Söz konusu gereksinimler başta hava trafik kontrolörleri olmak üzere, hava sahasını kullanan tüm kullanıcıların (uçuş ekibi, uçuş planlamacısı, havayolu işletmecisi vb.) ve beraberinde kural düzenleyicilerin ve denetleyicilerin de yakından takip etmesi gereken konulardır. Bu kapsamda gereksinimler ya da alınması gereken tedbirler şunlardır:

- Özellikle meydan kontrol ve yaklaşma kontrol ünitelerinde görev yapan hava trafik kontrolörlerinin konu hakkında bilgilendirilmesi ve belirtilen altı kategoriye ilişkin ayırma değerlerinin hem eğitim programlarına dahil edilmesi hem de yenileme eğitimi ile beraber halen görev yapan hava trafik kontrolörlerine tanıtılması,
- Kalkış ve iniş ayırmalarına ilişkin bölgesel düzenlemelerin öncelikli olarak simülasyon ortamında geçerlilik testinin yapılması ve takiben uygulamaya konulması,
- Uçuş ekiplerinin de RECAT ile belirlenen altı kategoriye ilişkin ayırma değerlerine ait uygulama ve bölgesel düzenlemelerden haberdar olması,
- Yakın gelecekte RECAT uygulamasının hava sahasında daha fazla kullanılmaya başlanması ile beraber ICAO ve FAA uçuş plan formlarında yer alan "Kuyruk Türbülans Kategorisi" hanesinin yeni kategoriler ile uyumlu hale getirilmesi,
- Gerek bölgesel, gerekse ulusal anlamda RECAT uygulamasının hava sahası ve pist kapasitesini artırıcı bir düzenleme

olduğu konusunda hava sahası ve havaalanı yöneticilerinin teşvik edilmesi ve bir an önce uygulamanın yürürlüğe girmesinin desteklenmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

EUROCONTROL ve FAA'nın hava sahası yönetim stratejilerinin amaçlarından birisi de günümüzde ve gelecekte hızla artan hava trafiğine uygun olan hava trafik hizmetlerinin sağlanması için gerekli düzenlemeleri yapmaktır.

Toplumsal ihtiyaçların artması ve değişik hizmetlerin arayışı içerisinde girilmesi ile genel olarak hava trafik hizmetlerinin gelişmesi sağlanmış ve bu durum havacılık aktivitelerine de etki etmiştir. 1960'ların ikinci yarısından itibaren sivil havacılık sektöründe jet motorlu yolcu uçaklarının piyasaya çıkmasıyla beraber, havayolu şirketleri daha kısa zamanda, daha çok yolcuyla, daha uzağa taşımaya başlamış, bunun sonucunda dünyada sivil havacılık sektörünün en büyük adımlarından biri atılmıştır. Bu nedenle, hava trafik düzenlemeleri sadece gerekli ihtiyaçları karşılamakla kalmayıp, değişik senaryoları araştırmakta ve senaryolara reaksiyon göstermektedir. 30 Mayıs 1972 tarihinde DC-9 uçağının iniş kalkış çalışması esnasında DC-10 uçağının arkasında iniş yapmaya çalışırken düşmesi sonucu bir dönüm noktası olmuş ve beraberinde FAA tarafından Ağır (Heavy) kategorisine ilişkin yeni ayırma değerleri yaratılmıştır.

Günümüzde havayolu ulaşımına olan taleplerin artarak sürmesi, beraberinde hava sahası kullanıcı sayısını arttırmış ve bununla beraber başlangıçta yeterli olarak görülen pist ve hava sahası kapasitesi zamanla dar boğaza girmiş ve özellikle yoğun havaalanlarında ihtiyaçlara yeteri kadar cevap veremeye başlamıştır.

Uçakların emniyetli ve düzenli bir akış halinde uçuşlarını gerçekleştirebilmesi için aralarında yapılan mesafelendirme işlemi ayırma olarak nitelendirilmektedir. Uçakların aynı seviyede emniyetli şekilde uçuşmasını sağlamak için uzunlamasına ayırma yöntemleri kullanılmaktadır; aynı zamanda özellikle iniş ve kalkış safhasında uçakların birbirinin arkasından emniyetli şekilde uçuş operasyonlarını devam ettirebilmesi için belirlenmiş ve uzun yıllardır kullanılan kuyruk türbülans ayırmaları da mevcuttur. Kuyruk türbülansı etkisini en aza indirecek şekilde tasarlanmış olan ve uzun yıllardır kullanılan bu kuyruk türbülans ayırmaları emniyetlidir; ancak artan hava trafiği kapsamında artık aşırı muhafazakar bulunmaya başlamıştır.

Bu çalışmada, temelleri 2005 yılına dayanan ancak son yıllarda önemini daha da arttırmış olan uçak kuyruk türbülans kategorilerinde yeniliklere ait temeller ortaya konulmuştur. Çok sayıda yapılan ölçümler sonrasında ortaya çıkan yeni kategorilendirmeye ait rakamsal değerler ortaya konmuş ve ör-

neklendirilmiştir. Halen günümüzde ICAO ve FAA tarafından kullanılan kuyruk türbülans ayırmaları ve RECAT ayırma değerlerine ilişkin durum, tablolarla açıklanmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Bununla beraber, RECAT düzenlemesinin hayata geçirilmesi ve yararları tartışılmıştır. RECAT uygulamasının zamana yayılan bir süreçte özellikle EUROCONTROL bölgesinde yer alan Türkiye'yi etkileyeceği düşünülmektedir. Özellikle 2014-2021 yılları arasından hava trafik anlamında beklenen artış da göz önünde bulundurulduğunda, pilot olarak seçilecek bir havaalanında RECAT ayırma değerleri kapsamında mahalli usullerin ilan edilerek denenmesinin gelecek çalışmalara ve hava sahası düzenlemelerine yön verebileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Gerz, T., Holzapfel, F., Bryant, W., Köpp, F., Frech, M., Tafferner, A., Winckelmans, G. 2005. "Research Towards A Wake- Vortex Advisory System for Optimal Aircraft Spacing," C. R. Physique 6, p. 501-523.
2. T. C. Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. 2010. Havaalanlarında Kapasite Kriterleri, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
3. The Airport Development Reference Manual (ADRM). 2015. The International Air Transport Association (IATA).
4. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2012. "Re-definition of ICAO Categories for Wake Turbulence (Recat)," Twelfth Air Navigation Conference, AN-Conf/12-WP/41, 5 October 2012, Canada.
5. International Civil Aviation Organisation (ICAO). 2007. Procedures for Air Navigation Services-Air Traffic Management, PANS-ATM, DOC 4444, Canada.
6. US Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA). 2014. Order JO 7110.65V Air Traffic Control.
7. Lang, S., Tittsworth, J., Bryant, W. H., Wilson, P., Lepadatu, C., Delisi, D. P., Lai, D. Y., Greene, G. C. 2010. "Progress on an ICAO Wake Turbulence Re-Categorization Effort" AIAA Atmospheric and Space Environments Conference, AIAA 2010-7682, 2-5 August 2010, Toronto, Ontario, Canada.
8. Morio, J., Visscher De, I., Duponcheel, M., Winckelmans, G., Jacquemart, D., Balesdent, M. 2016. "Analysis of Extreme Aircraft Wake Vortex Circulations," In Estimation of Rare Event Probabilities in Complex Aerospace and Other Systems, Ed. Jerome Morio, Mathieu Balesdent, doi:10.1016/B978-0-08-100091-5.00012-5, Elsevier, Waltham, USA; Kidlington, UK.
9. US Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA). 2014. Aircraft Wake Turbulence Advisory Circular, AC 90-23G.
10. EUROCONTROL. 2015. European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure RECAT-EU, Eurocontrol, Bruxelles.
11. Treve, V., Rooseleer, F. 2014. RECAT-EU Proposal, Validation and Consultation, WakeNet-EU, Eurocontrol, Paris.
12. US Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA). 2015. Order JO 7110.659B Wake Turbulence Recategorization.
13. US Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA). 2014. SAFO 14007 Federal Aviation Administration (FAA) Wake Turbulence Re-Categorization Updates.
14. EUROCONTROL. 2015. An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2014, Performance Review Report (PPR 2014).
15. US Department of Transportation Federal Aviation Administration (FAA). 2015. NextGen Priorities, Joint Implementation Plan Revision 1, October 2015.
16. Brenner, F. 2015. "More Efficient Runway through put with RECAT-EU," Airport Business Magazine, Winter Edition.

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ÖĞRENİMİ VE YENİLEŞİMCİLİK

Burhan Çuhadaroğlu

Prof. Dr.,

Karadeniz Teknik Üniversitesi,

Makine Mühendisliği Bölümü,

Termodinamik Ana Bilim Dalı,

Trabzon

burhan@ktu.edu.tr

ÖZ

Makina mühendisliği disiplini sahip olduğu çok yönlü ve zengin içeriği nedeniyle teorik olarak yoğun sayılabilecek bir öğretim programına sahiptir. Ülkemizde endüstriyel gelişmenin temel bileşenlerinden olan makina mühendisliğinde öğrenim, uzun yıllardır bilinen klasik yapısı dâhilinde yapılmıştır. Özellikle, yenileşimin (inovasyon) bütün mühendislik alanlarında büyük önem kazandığı günümüzde bu yeni kavram ile öğrenim programlarının tanıştırılması konusunda önemli eksiklik olduğu görülmektedir. Ülkemizde belli başlı vakıf üniversitelerinde makina mühendisliği öğrenim programlarının öğrencilere yenileşimci üretim yeteneği kazandırabilecek şekilde belirli ölçüde iyileştirilmesine rağmen, devlet üniversiteleri bünyesinde bu konuda yapılmış bir çalışma henüz yoktur. Yenileşim modeli uygulanan makina mühendisliği öğrenim programının ana unsurları; (1) temel dersler kapsamında kavramsal bakış kazandırmak, (2) diğer disiplinlere ilgi uyandırabilmek, (3) gerekli pratik becerileri yeterince kazandırabilmek, (4) tasarım çalışmalarında patent odaklı düşünmeyi benimsetmek şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmada, mevcut dört yıllık makina mühendisliği lisans öğrenim programının her bir döneminde yer alan teorik ve uygulamalı bazı derslerin içeriklerinin yeniden düzenlenmesi, yeni ders ve uygulamaların programa eklenmesi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Makina mühendisliği öğrenimi, yenileşim, patent odaklı tasarım

MECHANICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE PROGRAMS AND INNOVATION

ABSTRACT

Mechanical engineering education has a theoretically intensive program due to its multidisciplinary and rich content. In Turkey, mechanical engineering education which is one of basic component of industrial development is done with its known classical system. It is clear that although innovation has important role in all engineering areas, innovation concept has not been included to engineering education programs sufficiently. At the present, some major foundation universities of Turkey update their undergraduate engineering programs in order to enhance of innovation ability of their students. However, state universities of Turkey have not been making effort in this regard. It may be said that the main elements of innovative mechanical engineering program are: (1) to gain conceptual perspective, (2) to be of interest to other disciplines, (3) to gain necessary practical abilities, (4) to adopt thinking about as patent focused in design studies. In this context, it should be attempted that syllabuses of courses of mechanical engineering education program should be rearranged and some new courses should be included to the undergraduate education programs mechanical engineering.

Keywords: Mechanical engineering education, innovation, patent focused design

Geliş tarihi : 19.03.2016

Kabul tarihi : 11.10.2016

Çuhadaroğlu, B. 2016. "Makina Mühendisliği Öğrenimi ve Yenileşimcilik," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 680, s. 51-58.

1. GİRİŞ

Dünyadaki ilk resmi mühendislik okulu 1757 yılında Fransa’da açılmıştır. Yine Fransa’da Ecole Polytechnic 1794’te kurulmuştur. ABD’de ise askeri mühendislik alanındaki ilk mesleki eğitim, 1817 yılında West Point Askeri Akademisi’nde verilmiştir. Harvard, Yale ve Dartmouth üniversiteleri, 19. yüzyıl ortalarında mühendisliği eğitim programlarına almışlardır. Daha sonraki yıllarda Harvard Üniversitesi mühendislik eğitimini programından çıkartmıştır, ancak Rensselaer Polytechnic Enstitüsü ve MIT gibi yeni teknik okullar açılmıştır. 1870’e gelindiğinde ABD’de mühendislik eğitimi yapan okul sayısı 70’e, 1990’da ise 250’ye ulaşmıştır [1].

Ülkemizde mühendislik öğreniminin kurumsal bir kimlik ile olan başlangıcı; günümüzdeki İTÜ’nün doğuşunu simgeleyen ve 1773’te Haliç tersanesinde kurulan Mühendishane-i Bahr-i Hümayun ile olmuştur. Ülkemizde 1950’den sonra açılmaya başlanan yeni teknik üniversiteler ile hız kazanan mühendislik ve mimarlık öğretiminden geçerek mezun olan mühendis ve mimar sayısı 2004 itibarıyla 480.000 civarında olup, günümüzde bu sayının 500.000’i aştığı söylenebilir. Yapılmış olan bir anket çalışmasına göre; ülkemizde çalışan mühendislerin %19,6’sı imalat sanayinde faaliyet gösterirken, %18,8’i inşaat, %15,9’u kamu, %11,3’ü tarım ve ormancılık, %8,2’si finans ve sigorta ve geri kalan kısım da madencilik elektrik, gaz, su, ulaşım gibi alanlarda faaliyet göstermektedir [2].

Günümüze değin geçen süreç içerisinde küresel ölçekte ortaya çıkmış olan ekonomik, siyasal ve iklimsel değişimlerin mühendislik uygulamaları ve teknoloji üzerindeki etkisi yadsınmaz. Ayrıca kültürel ve bölgesel özelliklerin mühendisliğin ilgi alanları üzerinde belirli ölçüde etkili olduğu da söylenebilir. Örneğin fosil kaynakların tükenme eğilimi gösterdiği ve çevresel sorunlara olan duyarlılığın artmakta olduğu bir süreçte, yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji dönüşüm sistemleri üzerinde daha fazla mühendislik çalışmasının yapılması kaçınılmazdır. Yüksek dış hava sıcaklığına sahip bölgelerde soğutma ve iklimlendirme, düşük dış sıcaklıklı bölgelerde verimli ve konforlu ısıtma tasarımları ilgi çekici olmaktadır. Denize kıyı bölgelerde deniz taşıtlarının tasarımına yönelik mühendislik çalışmaları öne çıkarken, iç kara bölgelerde hava ve kara taşıtlarına yönelik tasarımlar daha çok ilgi çekebilir. Yaş sebze ve meyve üretiminin yoğun olarak yapıldığı yerlerde soğuk hava deposu ve sebze-meyve kurutma sistemlerine ait mühendislik tasarımlarına mutlaka gereksinim duyulur. Daha da artırılabilir olan bu örneklerden; mühendislik uygulamalarının, gerçekleştirildiği bölge özellikleri ile doğal bir etkileşim içerisinde olduğu sonucuna varmak mümkündür.

Öte yandan, teknolojik gelişmelerdeki yönelimlerin mühendislik faaliyetleri üzerinde çok önemli bir işleve sahip olduğu

da açıktır. İletişim ve haberleşme elektroniğindeki hızlı gelişmeler ve artan piyasa talebi bu konudaki mühendislik çalışmalarının da artması anlamına gelmektedir. Aynı şekilde, konforlu ve enerji etkin yapılara olan talep artışı bu alandaki inşaat, tesisat ve mimarlık çözümlerinin de çok iyileşmesini ve doğal olarak daha kaliteli tasarımların yapılmasını gerektirmektedir. Bu yönü ile mühendisliğin teknolojik gelişmeler ile doğrudan bağlantılı olduğu ve bu bağlamda mühendislik öğrenim programlarının yeterince dinamik ve yenilikçi bir yapıda olması gerektiği anlaşılır.

2. MÜHENDİSLİK ÖĞRENİM PROGRAMI ÖLÇÜTLERİ

Mühendislik öğrenimi ile ilgili geleneksel uygulama ile ilgili olarak, öğretim üyesinin derslikte elindeki ders notlarından yararlanarak tahta başında öğrenciye bilgi aktardığını söylemek yanlış olmaz. Bu tablo içerisinde öğrenciler derslikte pasif olarak yer alıp tahtada yer alan bilgileri not ederken, belirli bir kısım öğrencinin başka şeyler okuduğu ya da ev ödevini yaptığı bilinen davranışlardır. Öğretim üyesinin sorduğu sorulara dersliğin ön kısmında oturan birkaç öğrenci yanıt verme çabasına girerken, derslikteki geri kalan çoğunluk, öğrenci öğretim üyesi ile göz temasından bile kaçınır. Bu durum bütün dönem boyunca her derste tekrarlanır. Bu geleneksel uygulama, uzun yıllar boyunca bazı küçük değişiklikler ile yakın zamana kadar bütün dünyada devam etmiştir. Mühendislik öğreniminde yaşanan küçük değişiklikler olarak elektronik hesap makinelerinin kullanıma girmesi, dersliklerde data-show kullanımının yaygınlaşması ve ders notu dokümanlarının zenginleşmesi söylenebilir [3].

Ancak, son yıllarda dünyada bu geleneksel anlayışın değişmekte olduğu bir sürece girilmiştir. 2001 yılında ABD’de yapılan “Mühendislik ve Teknoloji Akreditasyon Kurulu (ABET)” mühendislik öğrenimi yapan kurumlarda öğrencilerin bilgi, beceri ve profesyonel değerler bakımından değerlendirmesini yapmakta ve bu durumu belgelemektedir. Lisans düzeyindeki mühendislik öğreniminde ABET; öğrenciler, program eğitim amaçları, öğrenci çıktıları, sürekli iyileştirme, müfredat, akademik kadro, eğitim araçları ve kurumsal destek olmak üzere toplam sekiz ölçüt üzerinden inceleme yapmaktadır. Bu ölçütlerden çalışma konusuyla ilgili olan öğrenci çıktıları ise (a)’dan (k)’ya kadar toplam 11 (üzeri de olabilir) farklı yeteneğin öğrencilere kazandırılmasını öngörmektedir [4]. Bunlar içerisinde “(c) ekonomik, çevresel, sosyal, politik, etik, sağlıklı ve güvenli, üretilebilirlik ve sürdürülebilirlik gibi gerçekçi kısıtlar içerisinde kalarak istenilen gereksinimleri karşılayacak şekilde bir sistem, bileşen ya da süreci tasarlayabilmek” yeteneği esas olarak öğrencilere yenilikçi olabilmek yeteneği kazandırmayı amaçlamaktadır. Zira günümüzde yaşanmakta olan hızlı teknolojik gelişmeler

nedeniyle mühendislik tasarımları da sürekli bir değişkenlik içerisinde. Diğer bir deyişle, mühendislik tasarımları temel sınırlamalar dışında standartlar ve yönetmelikler ile kısıtlanamayacak kadar yeniliklere açık bir seyir izlemektedir. Bu nedenle, günümüzde artık bütün mühendislik tasarımlarında güncel çözümlerin ve yenilikçiliğin büyük önemi vardır. Her bir tasarım içerisinde mutlaka “fikri koruma” altına alınabilecek (patent alınabilecek) çözümlerin elde edildiği bir yöne doğru gidiş vardır.

Dünyanın gelişmiş birçok ülkesinde mühendislik öğrenim programlarında yeni paradigmanın benimsenmesi konusunda bazı akademik ve endüstriyel çevrelerin oldukça etkin bir şekilde çalışmakta olduğu görülmektedir. Örneğin “Amerikan Mühendislik Eğitim Derneği (ASEE)” tarafından periyodik olarak düzenlenmekte olan konferanslardan 2011 yılındaki-ne ait makina mühendisliği bölümü altındaki konu başlıklarından ilki “yenileşimci öğretim ve öğrenme stratejileri”dir. Ayrıca ABD’deki “Ulusal Bilim Vakfı (NSF)” üniversitelerdeki yenileşimci mühendislik öğrenim programlarının yaygınlaşmasını gittikçe artan bir şekilde desteklemektedir. Vakıf öncülüğünde oluşturulmuş olan “mühendislik eğitim koalisyon programı” ABD’deki elliden fazla mühendislik okulunda programların geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır [5].

Cambridge ve MIT arasında 2000 yılında ortaklaşa olarak oluşturulmuş olan CMI (Cambridge-MIT Institute); üniversiteler ve endüstri arasında bilgi alışverişini artırmak suretiyle üniversitelerde yenileşimciliği hızlandırmak amacıyla taşımaktadır [6]. CMI yenileşimci öğrenim programları; lisansüstü programlara yatırım yapmak, yeni dersler açmak ve lisans düzeyinde öğrenim konusundaki araştırma programları ile geliştirilmiştir. Ayrıca CMI’nın yenileşimci programları içerisinde çeşitli çalıştaylar ve öğrenciler ile profesyonellere yönelik çeşitli seminerler de yer almaktadır. Üniversitelerin, öğrencilerini yenileşimci mühendisler olarak yetiştirmek üzere üç temel alanda yoğunlaşmaları gerekmektedir: (1) Üniversite, öğrencilere verilen temel bilgilerin kavramsal bir şekilde anlaşılmasını sağlamalıdır, bu sayede öğrenci almış olduğu bilgiyi daha sonra yeni kavramlar geliştirmek üzere kullanabilir. (2) Üniversite, öğrencilerin uygun becerileri öğrenmesini sağlamalıdır. (3) Üniversite, ön-girişimcilik için fırsatlar yaratmalıdır. Bu çerçevede, donatılan öğrencilerin öz güvenlerinin gelişmesi ve yenilikçiliğin bir özelliği olan risk almayı da öğrenmeleri mümkün olacaktır [6].

Silveira vd. [7] tarafından sunulmuş olan çalışmada, mühendislik bölümlerinde yenileşim odaklı öğrenimin genel çerçevesi olarak: (a) bugünkü ham teknolojinin gelecekte gelişmesini sağlayacak olan takım çalışmasının özendirilmesi, (b) buluşların çevresel etkilerinin tam olarak anlaşılması, (c) problem çözme becerisi, (d) girişimci mantıkla sosyal ve

ekonomik gereksinimleri tahmin edecek piyasa vizyonu, (e) yenileşimci iletişim yaratma ve bilgi üretiminde ikinci bir yolda çalışma konusunda kişisel beceriler gibi yeni işlevler sıralanmaktadır. Aynı çalışmada, girişimci/yenileşimci mühendis nasıl yetiştirilir sorusuna verilen yanıtlar içerisinde derslerin uygulamalı, rekabetçi ve esnek olması, endüstride stajların periyodik olması ve bitirme projelerinin bu kapsamda yapılması, yeni ürünler/patentler/fikri mülkiyet geliştirmeye odaklanmış uygulamalı disiplinlerin başlatılması yer almaktadır.

Ülkemizdeki mühendislik öğrenimi ile ilgili olarak; Türkiye ve KKTC’deki mühendislik eğitimi veren fakültelerin dekanlarından oluşan Mühendislik Dekanları Konseyi (MDK) tarafından 2002 yılında kurulmuş olan Mühendislik Değerlendirme Kurulu (MÜDEK), farklı disiplinlerdeki mühendislik eğitim programları için akreditasyon, değerlendirme ve bilgilendirme çalışmaları yaparak Türkiye’de mühendislik eğitiminin kalitesinin yükseltilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. MÜDEK tarafından gözetilen program ölçütleri ABET tarafından ortaya konulmuş olan ölçütler ile paraleldir. MÜDEK program çıktıları arasında 10. sırada yer alan “proje yönetimi ile risk yönetimi ve değişiklik yönetimi gibi iş hayatındaki uygulamalar hakkında bilgi; girişimcilik, yenileşim ve sürdürülebilir kalkınma hakkında farkındalık” [8] ifadesi ile mühendislik programlarının yenileşim özelliğini de içermesi gerektiği dile getirilmektedir. Bütün bu olumlu ve yapıcı yönlerine rağmen, dünyadaki diğer örgütler gibi MÜDEK de genel ilkeler ortaya koymakta ve programların içeriklerindeki iyileştirmeler ve değişiklikler konusunda detaylara girmektedir.

3. MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ YENİLEŞİMÇİ ÖĞRENİM PROGRAMI

Makina mühendisliği öğreniminde yeni paradigmanın uygulamaya girebilmesi ve etkinlik kazanabilmesi için, programlar konusunda belirlenmiş olan genel ilkelere uygun olarak bazı somut düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda önerilen yeni programın içeriğinde yapılması gereken iyileştirmelerin dayanağı olan argümanlar açık bir şekilde ortaya konulmalıdır. Diğer bir deyişle, yenileşimci bir makina mühendisliği öğrenim programında yer alacak olan yeni bileşenler (ders, uygulama, deney vb.) için somut örnekler üzerinde değerlendirme yapılmalıdır.

Yenileşimci makina mühendisliği öğrenimi konusunda dünyada ortaya çıkmış olan yeni paradigmanın ana unsurları olarak; temel dersler kapsamında kavramsal bakış kazandırmak, diğer disiplinlere merak uyandırabilmek, gerekli pratik becerileri (el becerisi, problem çözme becerisi vb.) kazandırabilmek, tasarım çalışmalarında patent odaklı düşünmeyi benimsetmek sıralanabilir. Bu kapsamda, ülkemizde yürütülmekte olan ortalama bir makina mühendisliği öğrenim programı

referans olarak seçilerek, yukarıda sıralanan yenileşimci paradigma bileşenlerinin bu programa nasıl ve hangi aşamalarda uyarlanması gerektiği üzerinde durulacaktır.

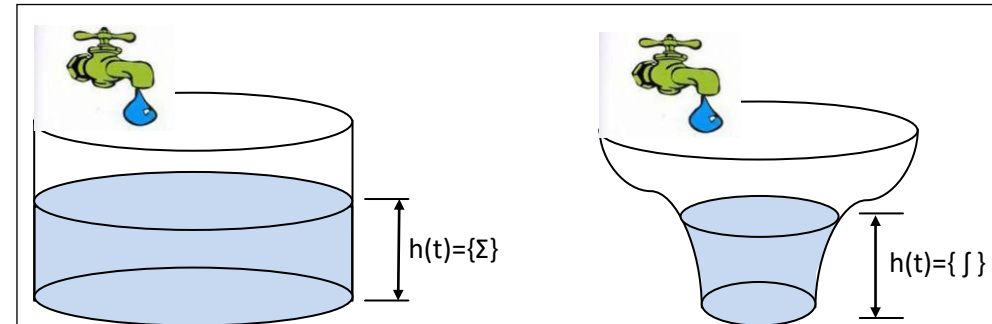
3.1 Tasarım Zekâsı

Herhangi bir konuda tasarım çalışması yapabilmeyen ön koşulu doğal olarak o konuda yeterli bilgi birikimine sahip olmaktır. Test edilmiş ve denemeden geçirilerek olgunlaştırılmış olan bilgi, iyi bir tasarım için gereklidir. Ancak orijinal tasarımlar için mutlaka farklı bakış açısına sahip olmak ve kavramsal düşünebilmek gibi özelliklere gerek duyulur. Öğrencilere bu özellikleri kazandırabilmek amacıyla, mühendislik öğrenim programında birinci sınıftan başlayan bazı düzenlemeler yapılmalıdır.

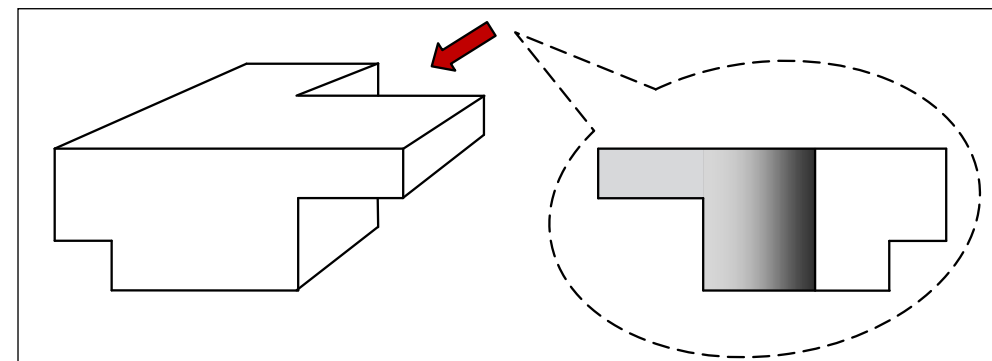
Ülkemizdeki mevcut makina mühendisliği lisans programlarının birinci sınıflarında verilmekte olan matematik, fizik, kimya, teknik resim, bilgisayar gibi temel dersler için yazılmış olan içerikler oldukça tatmin edici görünmektedir. Ancak bu derslerin yenileşimci olmayı hedefleyen bir program dâhilinde yürütülmesi konusunda eksiklikler vardır. Makina mühendisliği programındaki temel dersler, ilgili üniversitelerin fen fakültelerindeki öğretim üyesi kadrosu tarafından servis dersi olarak yürütülmektedir. Bu durumda temel ders, mevcut içeriğine bağlı bir şekilde ve bütün mühendislik bölümlerinin ortalaması olacak şekilde soyut örnekler üzerinde ve kavramsal olmaktan uzak kalarak yürütülmektedir. Oysaki temel ders paketi içerisinde yer alan diferansiyel ve entegral hesap, iş, enerji, güç, kuvvet gibi kavramların somut mühendislik örnekleri seçilerek bunların üzerinden aktarılması (Şekil 1), Taylor ve Fourier serilerinin mühendislik uygulamalarındaki kullanım yerlerinin öğretilmesi gibi noktaların üzerinde dikkatle durulmalıdır. Temel derslerde anlatılan konuların uygulamada nerede kullanıldığının öğrenciyeye anlatılması onda merak ve öğrenme ihtiyacı doğurur ve teorik konular gereksiz ve sıkıcı olmaktan çıkar. Bunu gerçekleştirebilmek için temel bilimlerde (matematik, fizik, kimya vb.) ders anlatacak öğretim üyeleri, ilgili mühendislik alanlarında doktora yapmış olanlardan seçilebilir. Bu nedenle, bu dersleri yürütecek özel bir kadronun fen fakülteleri içerisinde oluşturulması şeklinde bir planlamanın yapılması gerekmektedir.

Öte yandan, makina mühendisliği programlarında yer alan mevcut birinci sınıf derslerinin yanı sıra, üç boyutlu düşünebilmenin önünü açan, tasarı-derinlik-arka plan-izdüşüm-mantık gibi kavramların geliştirilmesine yönelik bir dersin programa alınması önemlidir. Bu ders ile öğrencinin üç boyutlu düşünebilmesi ve belirli bir perspektif görüntü için görünen yüzlerden yola çıkarak görünmeyen yüzün zihinde tam olarak canlandırılabilmesi amaçlanmalıdır (Şekil 2). Perspektif görüntülerin belirli düzlemlerdeki izdüşümleri ve kesit görüntülerin canlandırılabilmesi gibi ufuk açıcı çalışmalara yer verilmelidir. Önerilen bu ders; kısıtlı sayıda veri kullanarak sonuca ulaşma, analitik düşünme, bulanık mantık, algoritma geliştirme vb. gibi içerikler ile de zenginleştirilmeli ve öğrenciler için ilgi çekici ve zevkli bir yapıda sunulmalıdır.

Günümüzde kullanılan teknoloji ürünleri ve yenilikçi tasarımlar büyük ölçüde disiplinler arası çalışmalar sonucunda geliştirilmektedir. Yeni gelişmekte olan biyoteknoloji, mekatronik, nano mühendislik, gen mühendisliği, biyomekanik vb. alanlar, klasik disiplinlerin birbirine yaklaşması ile ortaya çıkmıştır. Yeni disiplinler arası çalışma alanları gelecekte de artan bir hızla orta-



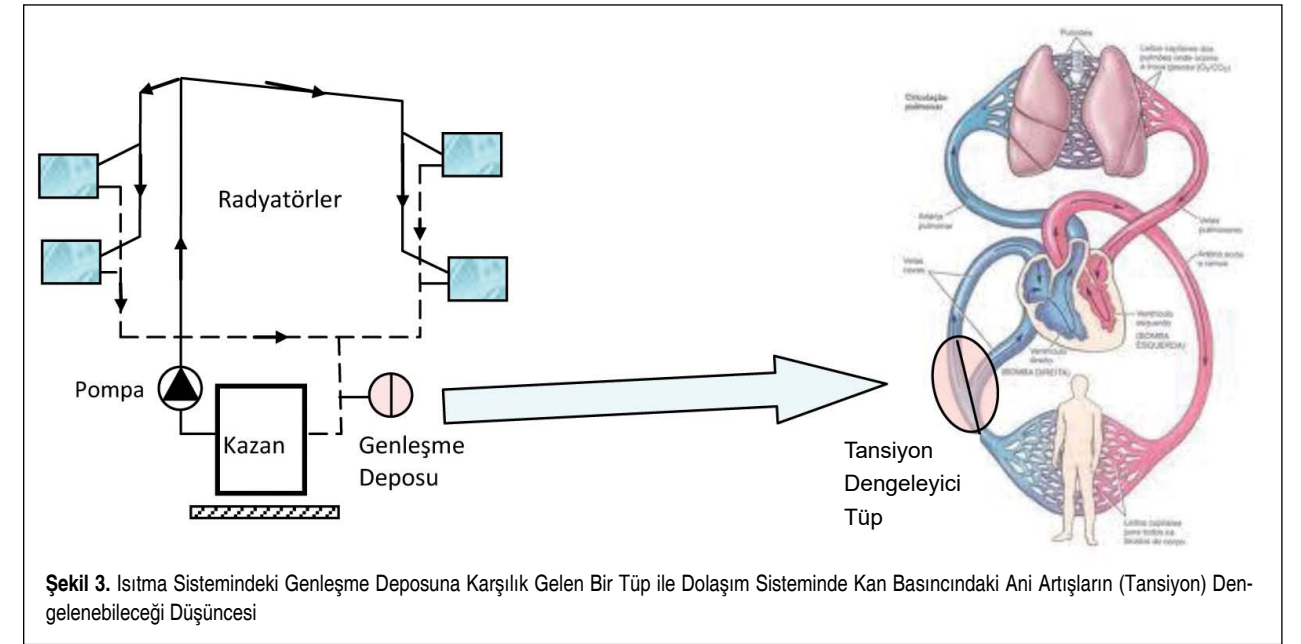
Şekil 1. Entegral Hesabın Kavramsal İfadesi



Şekil 2. Görünmeyen Arka Yüzün Görünümü

3.2 Farklı Disiplinlerden Beslenmek

Günümüzde kullanılan teknoloji ürünleri ve yenilikçi tasarımlar büyük ölçüde disiplinler arası çalışmalar sonucunda geliştirilmektedir. Yeni gelişmekte olan biyoteknoloji, mekatronik, nano mühendislik, gen mühendisliği, biyomekanik vb. alanlar, klasik disiplinlerin birbirine yaklaşması ile ortaya çıkmıştır. Yeni disiplinler arası çalışma alanları gelecekte de artan bir hızla orta-



Şekil 3. Isıtma Sistemindeki Genleşme Deposuna Karşılık Gelen Bir Tüp ile Dolayım Sisteminde Kan Basıncındaki Ani Artışların (Tansiyon) Dengelenebileceği Düşüncesi

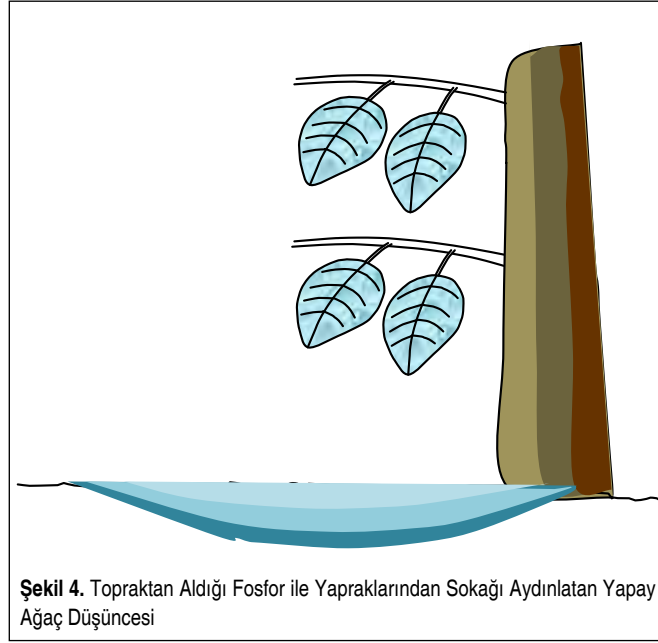
ya çıkmaya devam edecektir. Örneğin biyoloji-makine mühendisliği, ziraat-elektronik mühendisliği, tıp-havacılık-uzay, mekatronik-biyoloji gibi yeni disiplinler arası alanların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu süreç, iyi analiz edilerek mühendislik öğrenim programları ile ilişkilendirilmeli ve klasik programlar yeni ve dinamik bir görünüme kavuşturulmalıdır.

Yenileşimci makina mühendisliği programlarının yenileşimci tasarım anlayışı kazanmış mühendisler yetiştirmesinde öngörülmesi gereken ikinci aşamada, öğrencilerin farklı disiplinlere ilgi duymalarını sağlamak gerekmektedir. Salt mühendislik bilgileri ile donatılmış bir mühendisin diğer disiplinlere ait temel bilgileri de gerektiren yenilikçi ürünler tasarlaması için gerekli olan altyapıya tam olarak kavuştuğu söylenemez. Bu nedenle, makina mühendisliği lisans öğreniminin ikinci sınıf düzeyinde ve üçüncü sınıfın bir döneminde, öğrencilerin hem mühendislik disiplini içerisinde fakat farklı bölümlerin programlarında yer almakta olan elektronik, termodinamik, ulaşım, gemi elemanları, uydu teknolojisi vb. gibi dersleri, hem de mühendislik disiplini dışında kalan biyoloji, botanik, anatomi, kuantum fiziği, biyokimya vb. gibi dersleri seçmeli olarak almaları sağlanmalıdır. Bu derslerin seçiminde, öğrencinin üst sınıflarda yapacak olduğu tasarım çalışmalarında ele alacağı konuya olan yakınlık ile ilgili olarak öğrenciler yeterince bilinçlendirilmeli, bu derslerin mesleki yetkinlik konusundaki önemli rolü mutlaka vurgulanmalıdır.

Mühendislik öğrencilerinin ilgi duyduğu diğer disiplinlerden alacağı derslerin öğrencinin kendi mesleki gelişimi ile olan ilişkisi Şekil 3'te görülen somut bir tasarım düşüncesi üzerinde görülmektedir. Buradaki örnekte yer alan kan basıncı

(tansiyon) dengeleyici tüp, klasik bir ısıtma sisteminde yer alan genleşme deposunun karşılığıdır. Kendi mühendislik disiplini içerisinde ısıtma tesisatında ortaya çıkan basınç artışlarını karşılayarak, tesisatın yüksek basınçtan etkilenmesini önleyen genleşme tüpünün işlevini iyi bilen bir öğrencinin, insan kan dolaşım sistemi ile benzerlik kurması ve bu çözümü orada da uygulayabilmesi için kan dolaşım sistemini tanıması ve burada yaşanan sorunları bilmesi gerekir. Bu örnekte yer alan tansiyon dengeleyici tüpün boyutları, malzemesi, çalışma prensibi, dolayım sisteminde uygulanacağı yer gibi tasarım parametrelerine yanıt verebilmek için belirli bir anatomik bilginin olması gerekmektedir.

Yenileşimci mühendislik öğrenim programında farklı disiplinler ile tanışmanın önemi üzerine verilebilecek diğer bir orijinal (henüz uygulanmayan) örnek; Şekil 4'te görülen ve topraktan aldığı fosfor ile geniş yapraklarından sokağı aydınlatan yapay ağaç düşüncesidir. Bu düşüncenin gerçeğe dönüşmesi ve uygulamaya girmesi şüphesiz ki oldukça geniş bir botanik, biyoloji, elektrik, makina, kimya bilgisi ve çalışmasını gerektirir. Bu türden yapay bir ağacın herhangi bir ek enerji kullanmadan sadece güneşten alacağı ışınım ile bütün bu işlemi yapabilecek şekilde bir tasarımın yapılabilmesi için biyoloji ve makina mühendisliği formasyonu gerekirken, köklerden yaprağa kadar fosforun yürümesi ve toprağın içeriğinin belirlenmesi konusunda botanik bilimine gereksinim duyulacaktır. Bu "sihirli ağaç" aydınlatma yaparken gerek duyulacak olan fosfor miktarı hesabı için elektrik mühendisliği bilgisi kullanılacaktır. Bu tür bir tasarım çalışmasında ortaya çıkacak olan zorlukların ötesinde önemli olan unsur, yenilikçi düşünce anlayışının öğrencilerde yerleşmesini sağlayacak şekilde



Şekil 4. Toprakтан Aldığı Fosfor ile Yapraklarından Sokağı Aydınlatan Yapay Ağaç Düşüncesi

mühendislik öğrenim sisteminin geliştirilmesi ve uygulanmasıdır.

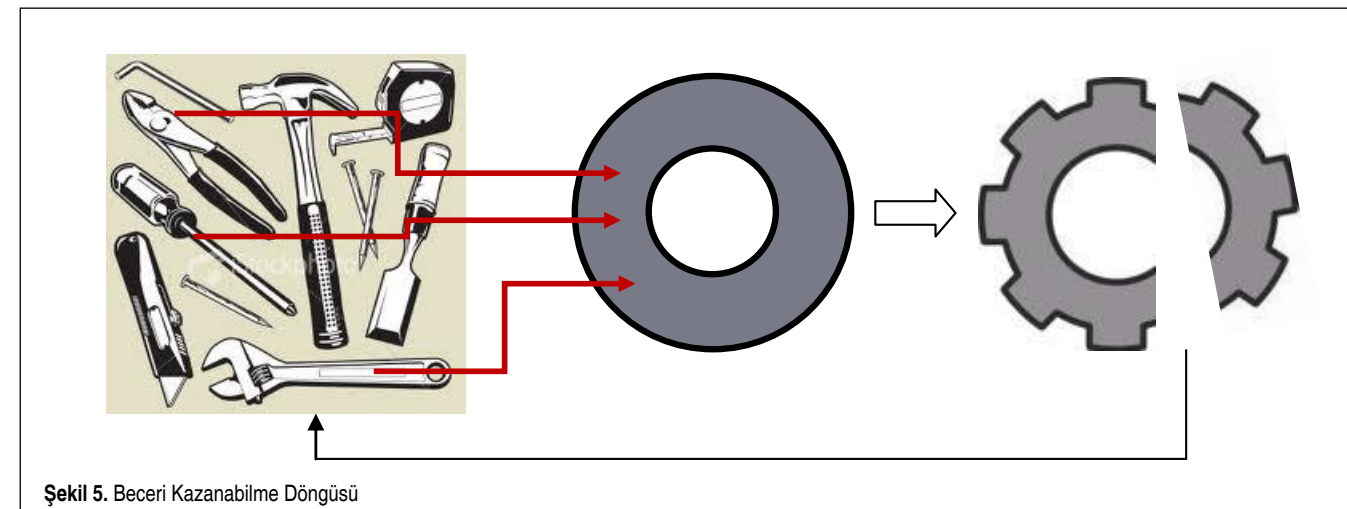
3.3 Üretim Becerisi

İnsan düşüncesinin ürünü olan tasarımların uygulamada yer bulması ve ticarileşebilmesi için uygun yöntemlerle üretilmesi ve piyasaya sunulması gerekmektedir. Yenilikçi ürünler için en önemli kısıtlardan bir tanesi de kolay üretilebilirliktir. Dolayısıyla, yenilikçi düşünce ürünlerinin endüstriyel anlamda üretimlerinin yapılabilmesi için üretim teknikleri hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Klasik makina mühendisliği öğrenim programlarında üretim yöntemleri ile ilgili olarak öğrencilere yeterli teorik bilgilendirme yapılmaktadır. Bu dersler kapsamında metal işleme, döküm, kaynak, plastik şekil verme, malzeme geliştirme vb. konular yer almakta ve

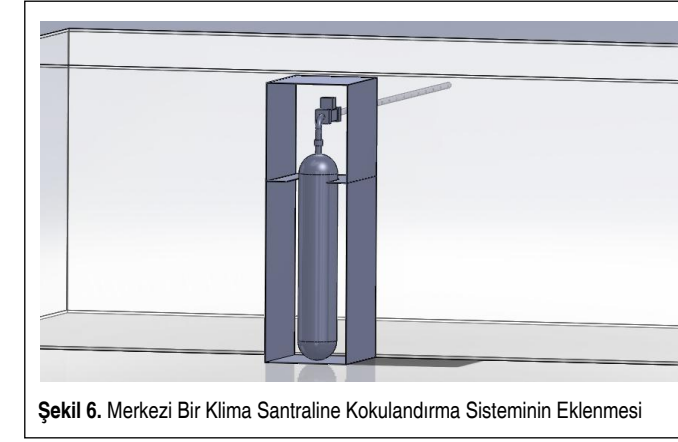
öğrencilere üretim teknikleri konusunda temel bilgiler kazandırılmaktadır. Bu dersler üretim teknikleri ile ilgili genel bilgileri içermekte olup, bir kısmında laboratuvar uygulaması da yapılmaktadır.

Klasik makina mühendisliği öğrenim programlarında teorik derslerin yanı sıra, öğrencilere pratik kazandırmayı amaçlayan staj, deney ve laboratuvar uygulamaları da yer almaktadır. Ancak üniversitelerin yapısal sorunlarından kaynaklanan nedenlerle bu uygulamaların önemli bir kısmı gereken düzeyde yapılamamaktadır. Özellikle staj konusunda işletmelerin isteksiz yaklaşımı ve öğrencilerin çoğunluğunda var olan motivasyon eksikliği nedeniyle amacın dışına çıkılarak sadece formalite yerine getirilmektedir. Bu konuda ülkemizdeki büyük endüstri kuruluşları ile üniversitelerin mühendislik fakülteleri arasında çok daha yakın ve gerçekçi bir işbirliğine gidilmesi ve konuya yasal düzenlemeler esasında bakılması ile amaca uygun sonuçlar elde etmek mümkündür. Makina mühendisliği öğreniminin tam anlamı ile yenilikçi bir içerik kazanabilmesi ülkemizdeki üniversite-sanayi işbirliğinin gelişmesine doğrudan bağlıdır.

Üniversitelerimizin finansal kaynak sorunları ve kısıtlı bütçesi nedeniyle, mühendislik öğreniminde gereksinim duyulan laboratuvar sarf malzemeleri ve deney gereçlerinin temini konusunda sorunlar yaşanmaktadır. Herhangi bir konuda tasarım projesi yapan bir öğrencinin bu tasarımını uygun malzemeler ile bir laboratuvar modeli olarak ortaya koyması sonucunda, öğrencinin hem el becerisi gelişecek hem de bu küçük özel üretimden çok büyük dersler çıkarılacaktır (Şekil 5). Tasarım projesine ait uygulamada öğrenci, kaynak, yapıştırma, sıkı geçme, perçin, pim gibi bağlantı elemanlarının kullanılmasını öğreneceği gibi, malzeme seçiminde gerçekçi olmayı kavrayacak ve daha da önemlisi yapacak olduğu basit hatalardan ders çıkartarak gelecekteki mühendislik yaşamının kalitesine yatırım yapmış olacaktır.



Şekil 5. Beceri Kazanabile Döngüsü



Şekil 6. Merkezi Bir Klima Santraline Kokulandırma Sisteminin Eklenmesi

3.4 Patent Odaklı Tasarlamak

Günümüzde mühendislik için; çevre ve ekonomi kısıtları içerisinde kalarak, insan yaşamını kolaylaştıran ve yaşama kalite katan tasarımlar yapmak, bu tasarımların üretimini ve gerektiği gibi işletilmesini sağlamak tanımı yapılabilir. İnsan yaşamında kalite arayışı ucu açık bir süreç olduğuna göre, mühendisin yapacağı tasarımların da zaman içerisinde değişim ve gelişim göstermesi doğaldır. Günümüzde her alanda inanılmaz düzeye ulaşmış olan ürün çeşitliliği içerisinde yenileşimci ürünlerin payı her geçen gün daha da artmaktadır. Önceden bilinmeyen ve yeni bir düşüncenin ürünü olarak geliştirilen tasarımlar için varılması gereken son nokta, bu ürünün patentlenmesi ve bu sayede fikri koruma altına alınması olmalıdır. Bu bağlamda, yenileşim ile patent arasında çok yakın bir ilişki vardır. Günümüzde kullanıma girmiş olan ve patenti alınmamış olan, ancak içeriği gizliliğini koruyan çok az sayıda ürün de mevcuttur. Ancak çalışma prensibi ve bütün tasarım detayları açıkça görülebilen yenileşim ürünlerinin patent koruması altına alınması bir zorunluluktur.

Makina mühendisliği öğrenim programlarındaki tasarım ve uygulama dersleri özellikle dördüncü yılda seçmeli dersler olarak yer almaktadır. Dört yıllık programın kendi hiyerarşik yapısına uygun bir şekilde son sınıf programında yer alan bu seçmeli derslerde, mühendislik bilgilerine dayalı olarak yapılan özel uygulamaların detayları öğretilmektedir. Makina mühendisliği disiplininde yer alan "Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme" ya da "Buhar Kazanları ve Isı Değiştirgeçleri" gibi dersler bu kapsamdadır. Mühendislik programlarında tamamlayıcı işlev üstlenen bu türden derslerde amaca yönelik teorik bilgiler ve tasarım ilkeleri öğrencilere aktarılmakta ve sınavlarında öğrencilerin almış oldukları bu bilgiler ölçülmektedir. Ancak, ülkemizdeki bazı istisnalar hariç olmak üzere, öğrencilerin almış oldukları bu tasarım bilgilerini "kullanabilme becerisi" konusunda herhangi bir ölçme ve değerlendirme yapılmamaktadır. Diğer bir deyişle, tasarım dersleri ile hedeflenen amaca ulaşılamamaktadır.

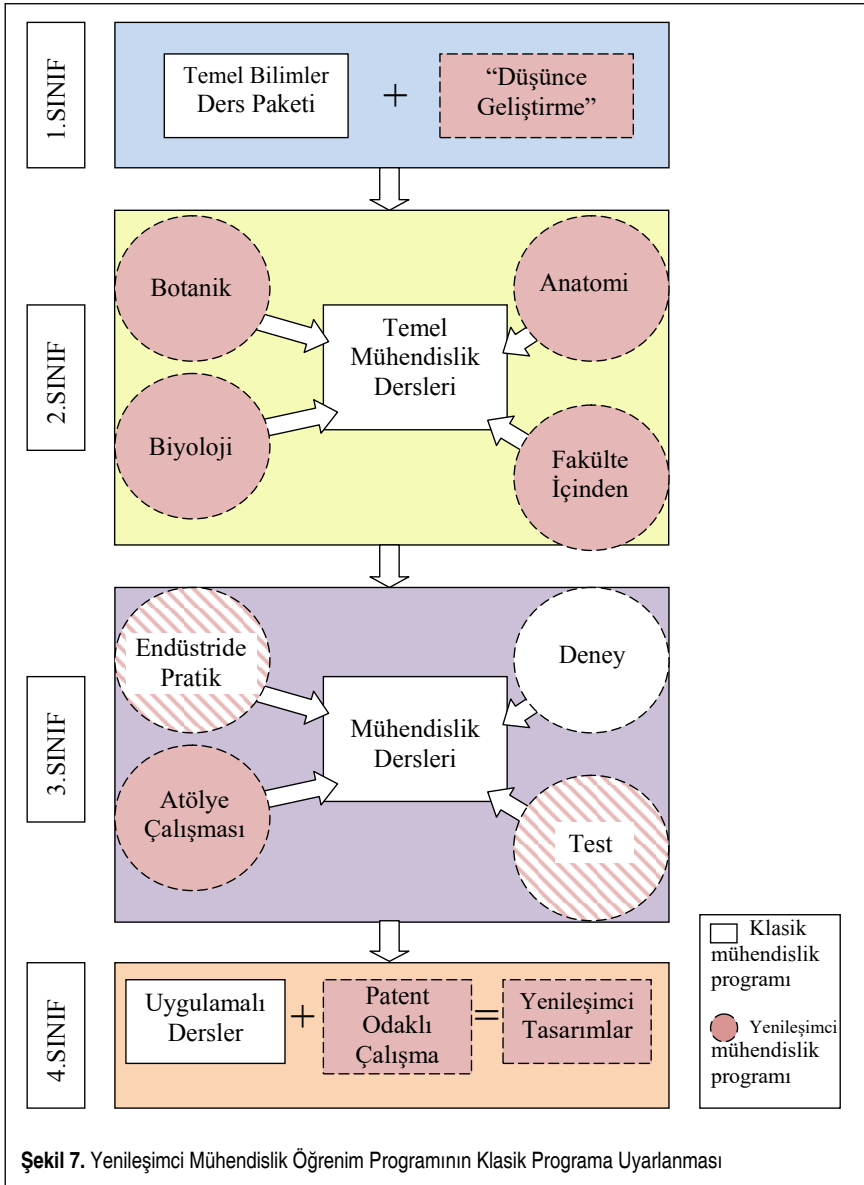
Yenileşimci makina mühendisliği öğrenim programında öncelikli olarak, ısıtma tasarımı ve mekanik tasarımı grupları altında yer almakta olan tasarım dersleri kapsamında her bir öğrencinin kesinlikle bir tasarımı kendi yetenekleri ölçüsünde yapması sağlanmalıdır. Bu sayede, öğrencinin kazanmış olduğu mühendislik altyapısının test edilmesi sağlanacaktır. Bu ilkenin yanı sıra, yenileşimci özellik kazanmış bir program içerisinde, öğrencilerin yapacağı tasarımların mutlaka "orijinal" ve hatta patentlenebilir unsurlar taşıması özendirilmeli ve desteklenmelidir. Diğer bir deyişle, herhangi bir konuda, öğrenciler tarafından yapılacak olan tasarımların mühendislik ilkelerine ve teknik verilere uygun olması ön koşuluna ek olarak, daha önceden bilinmeyen ve "hiç düşünülmemiş olan" çözümleri de içermesi hedeflenmelidir. Örneğin herhangi bir AVM için ısıtma-havalandırma-iklimlendirme projesini yapacak olan bir öğrenci grubundan daha önce hiç uygulanmayan ve kullanımda olmayan yenileşimci çözümler üretmesi ve bu projede uygulaması beklenmelidir (Şekil 6). Bu hedefi benimseyerek tasarım projesine başlayan öğrencilerin proje hazırlama süreci içerisinde mutlaka iyi ya da kötü orijinal çözümler üretmesi beklenmelidir. Bu türden bir uygulamanın üst makamlarca özendirilerek ve desteklenerek yaygınlaşp kök salması ile zengin bir yenileşimci çözüm sürecine girilmesi kuvvetle olasıdır. Öğrencilerin üretecek oldukları yenileşimci çözümlerin karşılığını kendi adlarını taşıyan patentler ile alması mühendislik öğrenimini de "çok ayrıcalıklı ve özel bir yere" taşıyacaktır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, üniversitelerin mühendislik fakültelerinde yürütülmekte olan eğitim-öğretimin yenileşimci bir içeriğe kavuşturulması konusunda yapılması gereken ek düzenlemeler kuramsal olarak incelenmiştir. Dört yıllık lisans öğreniminin her bir yılında yapılması gerekenler ve atılması gereken adımlar Şekil 7'de yer alan şemada görülmektedir. Buna göre, mevcut mühendislik öğrenim programının yenileşimci bir içerik kazanması bir ölçüde müfredat ile ilgili iken, önemli ölçüde üniversite yönetimlerinin bakış açısına ve akademik kadronun niteliğine bağlıdır.

Yenileşimci mühendislik öğrenim programına orta vade (OV) ve uzun vadede (UV) geçiş için yapılması gereken düzenlemeler ve atılması gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir:

- ❖ Programın birinci sınıflarında yürütülmekte olan temel bilimler ders paketlerinin mühendislik fakültelerindeki akademisyen kadrosu tarafından yürütülmesi ya da fen fakülteleri bünyesinde bu dersleri yürütecek özel bir kadronun oluşturulması (OV).
- ❖ Temel bilimler ders paketinde verilmekte olan bütün bilgilerin kavramsal (somut) olması ve derslerin içeriklerinde mühendislik uygulamalarına ait örneklere yer verilmesi (OV).



- ❖ Temel bilimler ders paketine; üç boyutlu tasarım, analitik düşünme, bulanık mantık, algoritma geliştirme vb. konulardan oluşan bir içeriğe sahip "düşünce geliştirme" gibi bir dersin eklenmesi (OV).
- ❖ Temel mühendislik ve mühendislik derslerinin yanında, öğrencilerin fakülte içinden ve dışından farklı disiplinlere ait "botanik", "biyoloji", "anatomi", "kuantum fiziği" gibi temel dersleri de almalarını sağlayacak düzenlemelerin yapılması (OV).
- ❖ Program içerisinde yer alan üretim yöntemleri derslerinde öğrencilerin el becerilerini geliştirecek uygulamalara yer verilmesi ve üniversite-sanayi işbirliğini yeni esaslara bağlayacak yasal düzenlemelerin yapılması (UV).

- ❖ Öğrencilerin tasarım çalışmalarında mutlaka patentle sonuçlanacak orijinal çözümler üretmelerini sağlayacak bir programın oluşturulması (UV).
- ❖ Yenileşimci mühendislik öğrenim programına uyum sağlayacak ve bu programı uygulayacak akademik kadroların yetiştirilmesi (UV).

KAYNAKÇA

1. Adams, J. L. 2004. "Bir Mühendisin Dünyası," TÜBİTAK, Ankara.
2. TMMOB. 2009. "Türkiye'de Mühendis-Mimar-Şehir Plancısı Profil Araştırması, ISBN: 978-9944-89-744-0, Ankara.
3. Rugarcia, A., Felder, R. M., Woods, D. R., Stice, J. E. 2000. "The Future of Engineering Education-I.A Vision for a New Century," Chemical Engineering Education, vol. 34, no.1, p. 16-25.
4. ABET. 2010. "Criteria for Accrediting Engineering Programs-Effective for Evaluations During the 2011-2012 Accreditation Cycle," <http://www.abet.org/wp-content/uploads/2015/04/abet-eac-criteria-2011-2012.pdf>, son erişim tarihi: 19.03.2016.
5. Prados, J. W. 1998. "Engineering Education in the United States: Past, Present, and Future," <http://eric.ed.gov/?id=ED440863>, son erişim tarihi: 19.03.2016.
6. Crawley, E. F. 2007. "CMI-A Bold Experiment in International Partnership," <http://web.mit.edu/fnl/volume/195/crawley.html>, son erişim tarihi: 19.03.2016.
7. Silveira, M. A., Scavarda-do-Carmo, L. C., Pimenta-Bueno, J. A. 2002. "Innovation and Engineering Education," International Conference on Engineering Education, 18-22 August 2002, Manchester.
8. MÜDEK. "Mühendislik Lisans Programları Değerlendirme Ölçütleri," [http://www.mudek.org.tr/doc/tr/MUDEK-Değerlendirme_Olcutleri_\(2.0.0-26.12.2008\).pdf](http://www.mudek.org.tr/doc/tr/MUDEK-Değerlendirme_Olcutleri_(2.0.0-26.12.2008).pdf), son erişim tarihi: 19.03.2016.

VİDA-SOMUN MEKANİZMALARININ DİKEY TAŞIMA PLATFORMLARINDA KULLANIMINA YÖNELİK TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Oral Bilici*

Ren Dışayn Teknoloji,
Antalya
oralbilici@hotmail.com

Hakan Ersoy

Doç. Dr.,
Akdeniz Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya
hakanersoy@akdeniz.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, vida somun mekanizmasının tasarım parametreleri incelenmiş ve dikey taşıma platformlarında kullanımından kaynaklanan problemlere yönelik çalışmalar yapılmıştır. Vida somun mekanizması tasarım parametrelerinin birbirlerinden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu amaçla, tasarım parametrelerini belirleyen denklemler bilgisayar ortamına aktararak varyasyonlar oluşturulmuştur.

Piyasada kullanılmakta olan bir ürüne ait tahrik sisteminin vida somun mekanizması bilgisayar ortamında modellenmiştir. Model üzerine referans yükler verilerek sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapılmıştır. Statik ve değişken zamanlı analiz yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarıyla denklemlerden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen grafiklere dayanarak bu prensipte çalışan sistemler için iyileştirme tavsiyeleri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vida somun mekanizması, somun tahrikli sistemler, vidalı mil hareket sistemi, dikey engelli platformları, dikey taşıma

EXAMINATION OF THE DESIGN PARAMETERS FOR THE USE OF SCREW-NUT MECHANISM IN VERTICAL LIFT PLATFORM

ABSTRACT

This study investigates the design parameters of the screw and nut mechanisms have been studied to address problems arising from the use of vertical transport platform. Screw nut mechanism modelling parameters has been examined how they influenced each other. For this purpose, the design parameters defining equations transferred to a computer program and variations were generated.

A drive system's screw nut mechanisms which is being used in the market are modelled with computer aided program. Finite element analysis was conducted on the model given reference loads. Static and transient analysis was performed. The results obtained from equations and analysis was evaluated. It is given recommendations for improvement for this type of systems from different perspectives, based on resulting chart.

Keywords: Screw nut mechanism, nut drive systems, ball screw movement systems, vertical disabled systems, vertical carrying platforms

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 19.03.2016
Kabul tarihi : 17.10.2016

Bilici, O., Ersoy, H. 2016. "Vida-Somun Mekanizmalarının Dikey Taşıma Platformlarında Kullanımına Yönelik Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi." Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 680, s. 59-71.

1. GİRİŞ

Vida somun mekanizmasının tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Günümüzde de çevremize baktığımızda en çok görebileceğimiz mekanizmalar arasında yer almaktadır. Tahrik sistemlerinin, elektromanyetik alan dolayısıyla dairesel hareket çıktısı vermesi ve bu hareketin doğrusal harekete çevrilme ihtiyacı, verilen önemi arttıran etkenlerden biridir. Gelişen teknoloji dolayısıyla, kalıp, döküm, otomotiv, havacılık ve uzay sanayisinin, mekanizmaya olan talepleri de oldukça artmıştır.

Otoblokaja sahip bir mekanizma olduğundan ve tersinir olmayan bir hareket sağlayabildiğinden sanayide çokça tercih edilmektedir. İnsan ve yük taşıyan sistemler için alternatiflerine göre daha güvenli olarak değerlendirilmektedir.

Vidalı sistemler son yıllarda özellikle engelli platformları, üst geçide merdivensiz ulaşım ve villa tipi yapılarda kullanım alanı bulmuştur. Kısa mesafeli asansörlerde önemli bir yer edinmeye başlayan vidalı sistemlere uygun vida somun parametrelerinin belirlenmesi, sistemin hafiflik ve maliyet açısından tasarımı yapılırken çalışma esnasında karşılaşılan titreşimlerin kontrol altına alınması gerekmektedir. Mekanizmanın düşük seyir mesafelerinde doğrusal hareket eldesi için kullanımı 5378 sayılı Engelliler Kanunu, 12.04.2011'de kabul edilen TS EN81-41:2010 Standardı ve 2006/18 sayılı Başbakanlık Genelgesi ile günümüzde ayrı bir önem kazanmış ve bu vesileyle kendi piyasasını yaratmıştır.

Ülkemizde ilgili standartlara uygun bir şekilde montajı yapılan engelli sistemlerinin tamamı yurt dışından temin edilmektedir. Benzer sistemlerde -bu mekanizmadaki otoblokajın yerine- kullanılan güvenlik sistemlerinin maliyetli olması ticari kaygılar dolayısıyla mekanizmaya ilgiyi arttırmıştır. Yerli üretimin, akademik çalışmalarla geliştirilen, ileri teknoloji ile donatılmış ithal ürünlerle rekabet gücü istenilen düzeyde değildir. Montajı yapılmış örnek bir engelli platformunun vida somun mekanizmasının iyileştirilmesi, deformasyon ve titreşim problemlerine akademik açıdan çözüm bulunması mümkündür. Dikey taşıma sistemlerinde ortaya çıkacak ek eğilme momentinin sisteme etkisinin en aza indirilmesi ile sistemin veriminin iyileştirilmesi ve konforunun artırılması öngörülmektedir.

Son yıllarda gittikçe artan bir ihtiyaç da takım tezgâhlarındaki hız, hassasiyet ve verimliliklerdir. Bu durum, vidalı milleri de ön plana çıkarmıştır. Vidalı millerdeki titreşim problemlerinin çözümü için birçok araştırma yapılmış ve temas yüzeyleri arasındaki kinematik ilişki çözümlenmeye çalışılmıştır. Bu çözümler için farklı yaklaşımlar mevcuttur.

Söz edilen yaklaşımlardan pratik olanları, yay kütle sistemi şeklinde incelemeyi tercih etmişken, bazıları da tamamen sonlu elemanlar yöntemiyle model oluşturmayı tercih etmiş-

tir. Söz gelimi Chen [1], kütle yay sistemini tercih etmiş olup bu model eksenal hareketi, burulma hareketini ve mesnetlerdeki yalpalamayı açıklamaktadır. Bu çalışmada, kızak salınımının pozisyon doğruluğuna etkisinin hatırı sayılır olduğu belirtilmiştir. Kütle yay sistemini irdeleyen benzer çalışmalar Kim, Yang, Lee ve Poignet tarafından da sunulmuştur [2-4].

Van Brussel ve Schafers birbirinden bağımsız yaptıkları çalışmalarda [5-6], bilyalı vidalı mil hareket sistemini de içine alan 3 eksenli bir freze tezgâhını sonlu elemanlarla modellemiş ve modelin yüksek hızlı tezgâhların kontrolü ve tasarımında kullanılabileceğini göstermiştir.

Vidalı mil sistemini tamamen sonlu elemanlarla ve ayrı kütleli olarak incelemenin avantaj ve dezavantajları vardır. Ayrı kütleli modeller, daha az serbestlik derecesi içerdiği için daha basittir. Ancak tablanın vidalı mil boyunca hareketi gibi çeşitli hareket dinamiklerini açıklayamaz. Bu sebeple, araştırmacılar hibrit modellere başvurmuştur. Bu modellerde vidalı milin ataleti ve rijitliği yayılı halde, diğer parçalar ise kütle yay sistemiyle ifade edilmiştir. Bu yaklaşımlardan birisi Pislari tarafından yapılmıştır [7]. Ancak bu çalışma, dinamik değişimleri ifade etmekten acizdir. Çünkü vidalı mil parametrelerinin değerleri somunun bir pozisyonu için elde edilmiştir. Bu sorunu Varanasi ve Nayfeh, vidalı mili üniform kiriş olarak hesaplayarak çözmüştür [8]. Alternatif kiriş formüllerini kullanarak hibrit sistemin çeşitli aşamaları birçok araştırmacı tarafından irdelenmiştir [9, 10, 11, 12, 13]. Çünkü bu durum, kiriş eşitliklerini kullanmaktan daha pratiktir.

Vidalı mil ile somun temas yüzeyini, oluşan titreşimleri, hareket iletimini ve milden platforma giden kuvvetleri anlayabilmek için önem arz etmektedir. Bunun sonucu olarak vida ile somun arasındaki bağıntının dinamiğini kavramak için de birçok bağımsız çalışma yapılmıştır [14, 15].

Çalışmanın temel amacı, vida somun mekanizmasının, dikey taşıma platformlarındaki mevcut kullanımının akademik bilgi ve bilgisayar programlarıyla iyileştirilmesini sağlayacak verileri ortaya koymak, hızın artırılmasıyla kontrolden çıkan titreşim problemini en aza indirmek için tavsiyelerde bulunmak, verim kayıplarını değerlendirerek enerji sarfiyatını ve malzeme değişim sürelerini kısaltmak için çıkarımlarda bulunmaktır.

Ülkemizde dikey engelli platformlarına yönelik yönetmeliklerin yabancı dilden çevirisi sanayiye uzak kurumlar tarafından yapılmakta ve ülkemiz şartlarıyla uygun olmayan ifadelerin resmi şartnamelere girdiğine şahit olunmaktadır. Yönetmeliklerin yetersiz ve anlaşılabilirlikten uzak olması, haksız rekabete sebep olduğu gibi, yeterli güvenlik önlemleri alınmamış ürünlerin piyasaya denetimsizce yayılması insan hayatını da tehlikeye atmaktadır. Çalışmanın amaçlarından biri de standartlardaki kıstasların değerlendirilmesine katkıda bulunabilmektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Verimi doğrudan ve dolaylı etkileyen tasarım ölçütlerinin incelenmesi önemlidir. Tasarım ölçütlerinin çalışmaya yansıtılabilmesi için bilinen formüllerden yola çıkılarak, vida helisinin istenildiği gibi değiştirilerek, diğer parametrelerin incelenmesini sağlayacak blok diyagramlar oluşturulmuştur. Blok diyagramlarının oluşturulması istenilen niteliklerdeki platformun nihai çıktılarını henüz tasarım aşamasındayken netleştirmekte yardımcı olacaktır. Bu sayede, kendi içinde dallara ayrılan, vida somun mekanizmasının hesaplama yöntemleri ile her durum için diyagramlardaki parametreleri değiştirmek suretiyle sonuca ulaşılması hedeflenmiştir.

2.1 Blok Diyagramların Oluşturulması

Blok diyagramlar, girdileri değiştirerek istediğimiz çıktılar almamızı kolaylaştırmakta ve grafiğe dökmemiz için çeşitli verileri istenilen şekilde sıralayabilmektedir.

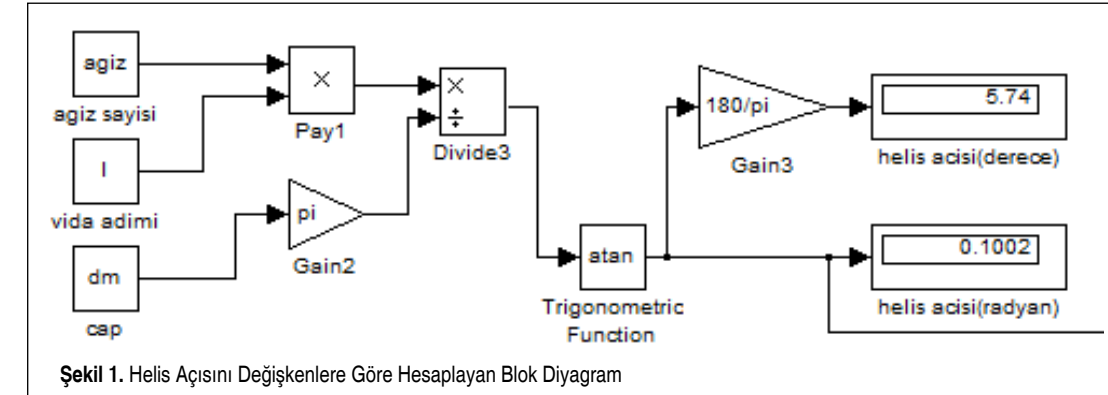
Sürtünmeler ve ağız sayısı gibi parametrelerin sabit kabul edilmesi ile elde edilen değerlerden faydalanarak görseller oluşturulmuştur. Helis açısı, mil çapı ve yük değişimlerinin, kaldırma momenti, mil gövdesinde oluşan kayma ve tek dişte oluşan sigma dış gerilmeleri üzerindeki etkisini görmemizi sağlayacak bir blok diyagram oluşturulmuştur.

Elde edilen değerlerde değişken parametreler belirlenirken, sürtünme katsayısı ve ağız sayısı sabit kabul edilmiştir. 2 ağızlı vidalarda helis açısı parametresi vida adımına bağlı olarak değiştirilmiştir.

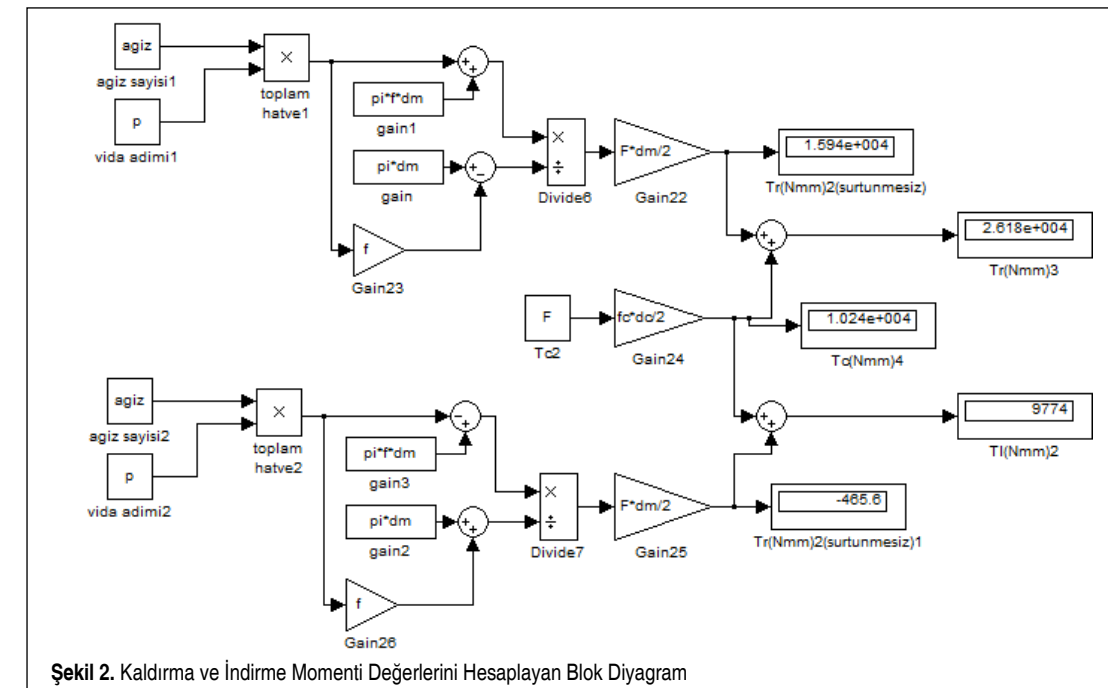
Helis açısının bağlı olduğu parametrelerin girdi olarak tanımlandığı ve sonucunda radyan ve derece birimlerinde çıktı veren blok diyagram, Şekil 1'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Ağız sayısı vida adımına bağlanarak toplam hatve oluşturulmuştur. Bu sayede, diyagram ağız sayısının artırılması denemelerine uygun hale getirilmiştir.

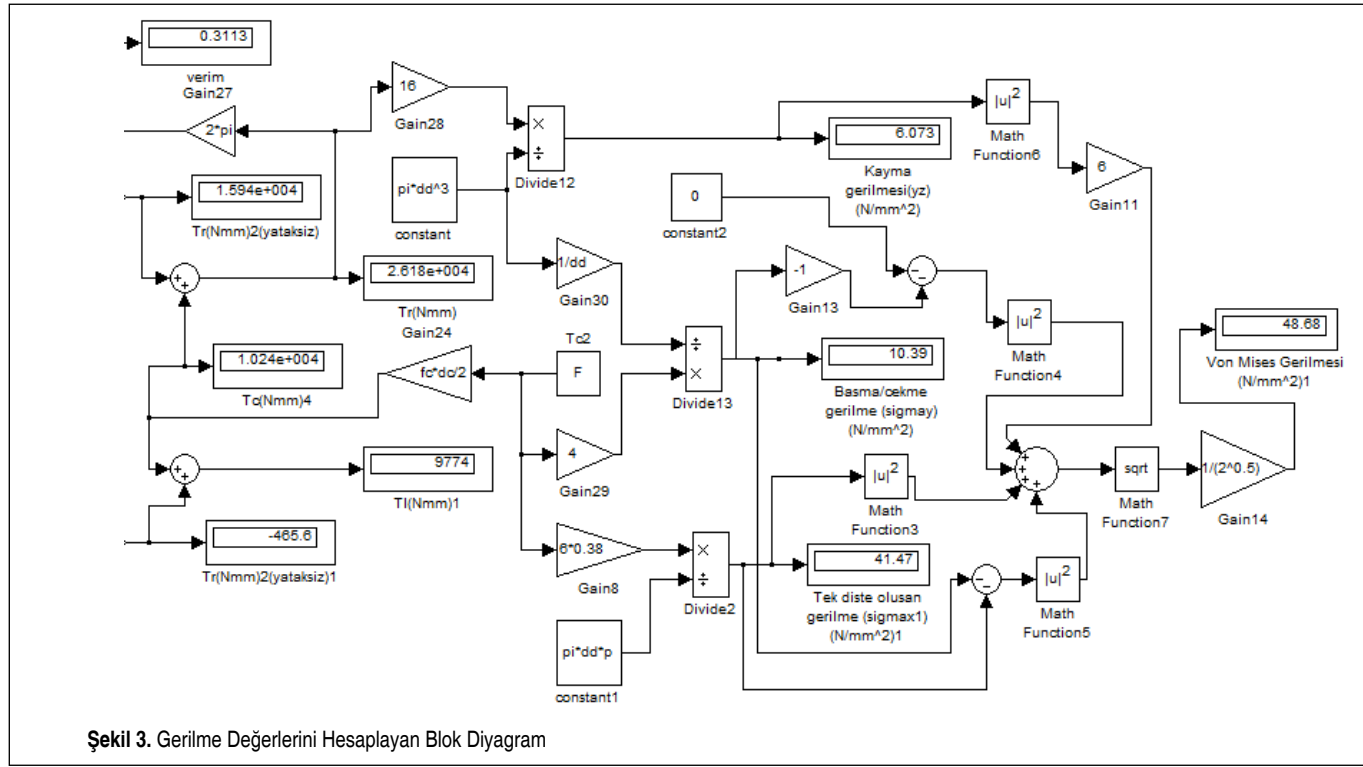
Değiştirilen parametrelerdeki kaldırma ve indirme moment-



Şekil 1. Helis Açısını Değişkenlere Göre Hesaplayan Blok Diyagram



Şekil 2. Kaldırma ve İndirme Momenti Değerlerini Hesaplayan Blok Diyagram



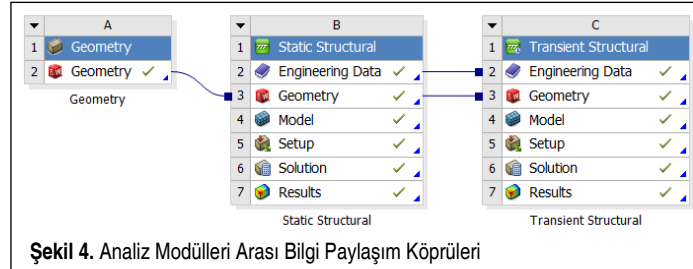
lerin elde edilmesi de istenmiştir. Bu sayede, istenilen değerlere yaklaşmak için bir ön çalışma yapılması sağlanmıştır. Kaldırma momentini oluşturan tüm parametreler ön tanımlıdır ve birbirine bağlı değerler Matlab Simulink grafik alanında oluşturularak sonraki denklemler için kullanılmaktadır. Yataklama sürtünmelerinin etkisinin ihmal edildiği durum, Şekil 2'de görülen diyagramda "sürtünmesiz" olarak ifade edilmiştir. Bu sayede, kaldırma momenti ve indirme momenti değerlerinin hesaplanması sağlanmıştır.

Kare profil vidadaki kaldırma ve indirme durumlarında oluşan kayma gerilmesi, basma/çekme gerilmesi, tek dişte oluşan gerilme ve von-mises gerilmesini görebilmek için oluşturulan diyagram, Şekil 3'te görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Şekil 3'te bulunan diyagram, girilen ilk parametrelerden bileşik gerilmeye kadar olan hesapları içermektedir. Elde edilen değerlerin isim ve birimleri, Türkçe karakterleri ve bazı yazı tiplerini desteklemeyen Simulink çalışma alanının elverdiği ölçüde, sonuç kutucuklarının altına yazılmıştır.

2.2 Blok Diyagramlarının Doğruluk Kontrolü

Blok diyagramların doğru kurulmuş olup olmadığının kontrolü için örnek problemler üzerinden doğrulamalar yapılmıştır. Örnek soruda verilen girdiler, kurulan diyagramlarda belirlenen değişkenlere yazılarak çözdürülme yoluna gidilmiştir. Kontrol problemi ve blok diyagram çözümü Ek A'da bulunmaktadır.



Şekil 4. Analiz Modülleri Arası Bilgi Paylaşım Köprüleri

2.3 Sonlu Elemanlar Analizi Çalışması

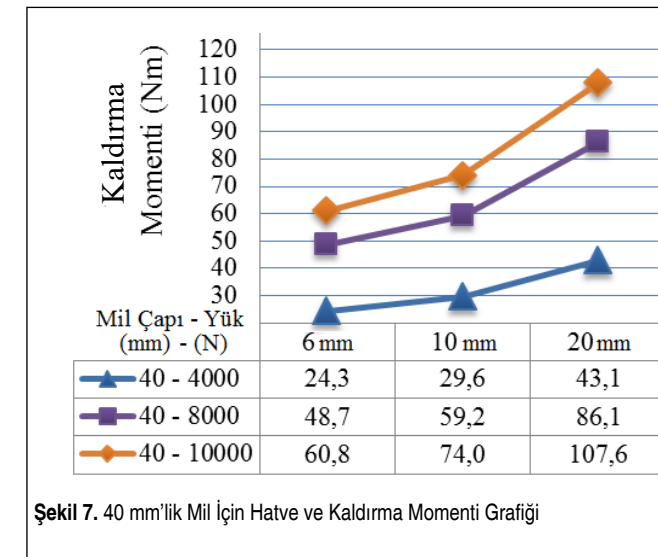
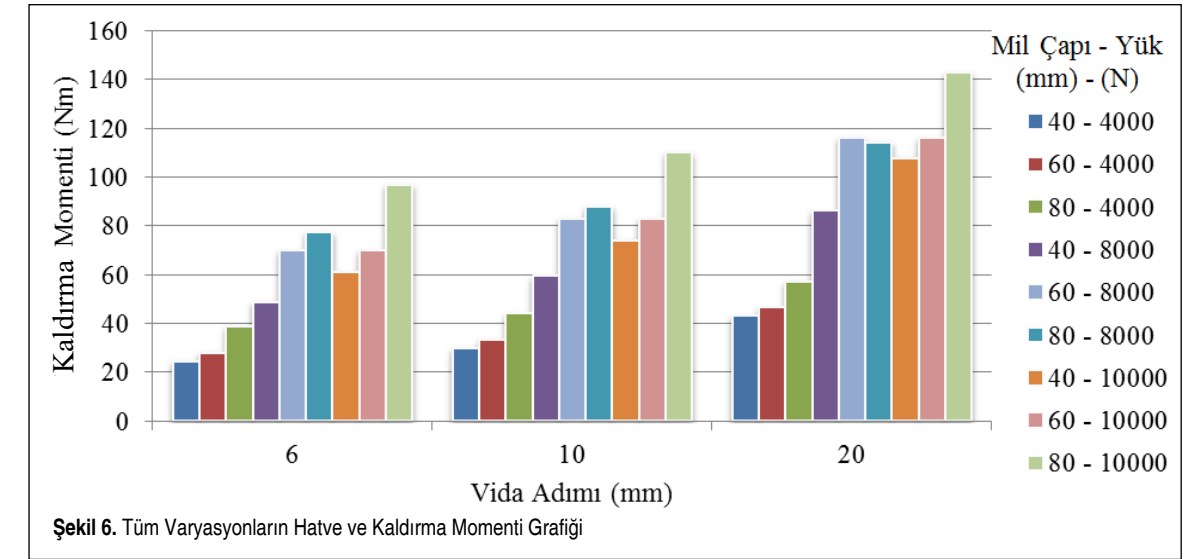
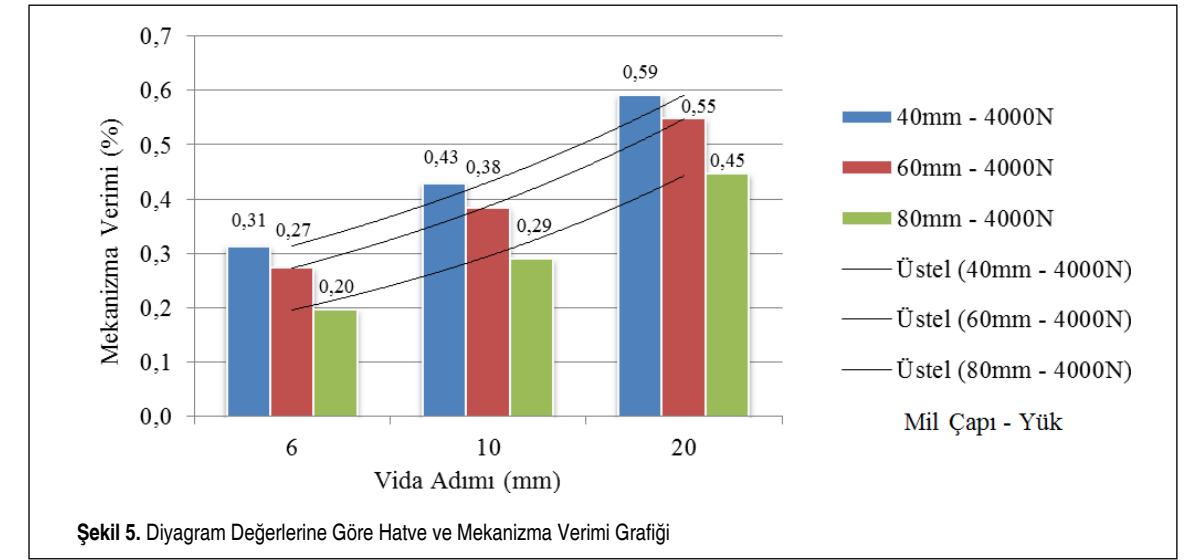
Sonlu elemanlar analizi koşturmak için oluşturulan somun ve vida modelleri Solidworks programında tasarlanmıştır. Statik ve zamana bağlı analizlerin Ansys Workbench programında koşturulabilmesi için oluşturulan model, Şekil 4'te görüldüğü gibi, bilgi paylaşım köprüleri ile analizlere bağlanmıştır.

3. BULGULAR

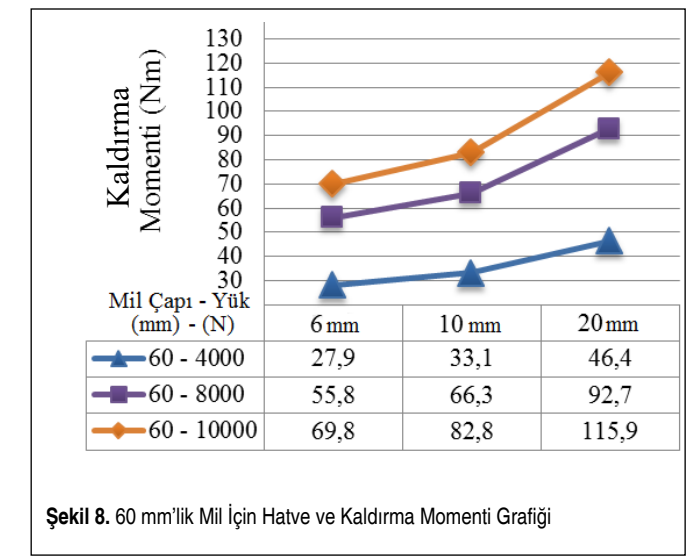
3.1 Blok Diyagramlardan Elde Edilen Çıktılar

Blok diyagramlardaki temel parametrelerin değiştirilmesi ile ulaşılan sonuçlar kullanılarak grafikler elde edilmiştir. Şekil 5'te, vida adımının değişimi ile değişen mekanizma verimi ve üstel eğimleri görülmektedir.

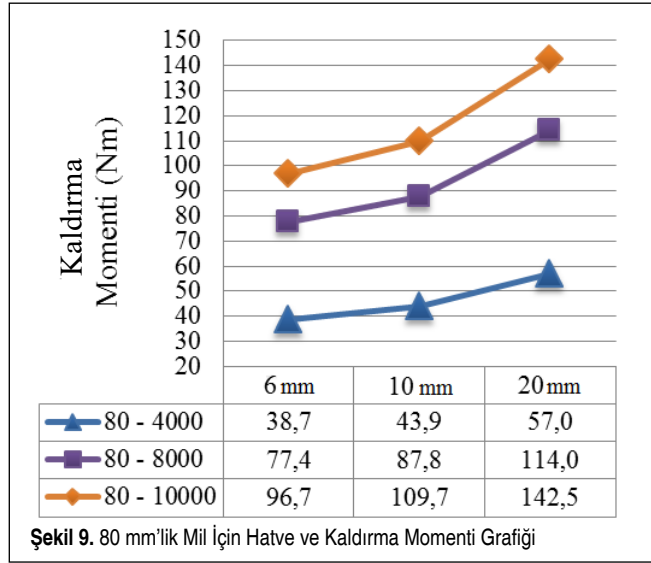
Vida üzerinde, hareket sırasında oluşan yükler kendi içinde değerlendirildiğinde mil çapının artmasının hareket için gerekli olan döndürme momentini arttırdığı gözlenmektedir. Bu



Şekil 7. 40 mm'lik Mil İçin Hatve ve Kaldırma Momenti Grafiği



Şekil 8. 60 mm'lik Mil İçin Hatve ve Kaldırma Momenti Grafiği



duruma sebep olan etkenlerden biri de sürtünen yüzey alanının artmasıdır.

Şekil 6'da, farklı yük ve çapların vida adımının değişimiyle değişen platformu yukarı yönde harekete geçirebilmek için gerekli olan moment değerleri gösterilmektedir. Hatvenin artması da helis açısını dolaylı olarak arttırdığı için gerekli döndürme momentini arttırmaktadır. Helis açısının artması, dikey yükü arttırmakta ve vida temas yüzeyine gelen birim yükü azaltmaktadır. Farklı çaplardaki vidalar için elde edilen sonuçlar, tablolar halinde Ek B'de bulunmaktadır. 40 mm'lik vida için Tablo 1, 60 mm'lik vida için Tablo 2, 80 mm'lik vida için Tablo 3'te, grafiklerde bulunan değerler detaylıca incelenebilir.

Yük sabit olarak değerlendirildiğinde, aynı hatve değerine sahip millerde, gerekli kaldırma momenti artış farklarına dikkat edildiğinde, küçük çaptan büyük çapa geçerken artış farkının katlandığı görülmektedir. Söz gelimi, aynı hatvedeki 10000N'luk değerler referans alındığında, 40 mm'lik mil'den 60 mm'lik mile geçişte ~9 Nm fark oluşurken, 60'lık milden 80'e geçişte ~26,5 Nm fark gözlenmektedir. Çaptaki artışın kaldırma momenti farkını nasıl katladığı görülmektedir (Şekil 7, 8, 9).

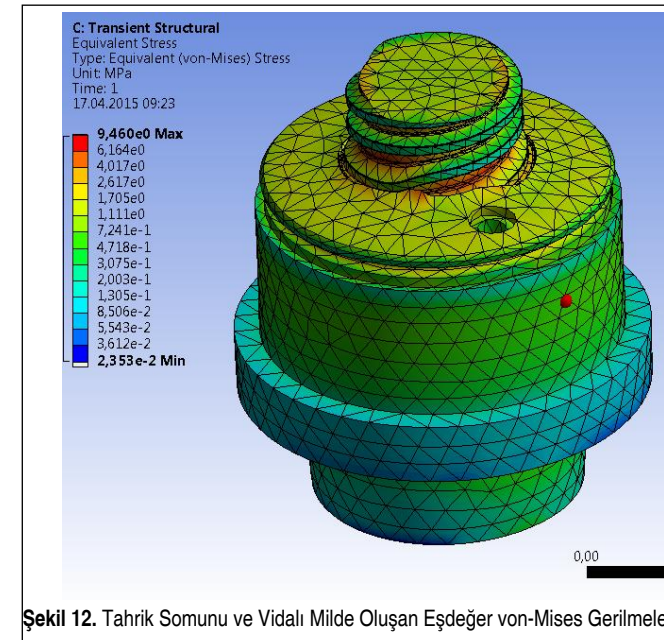
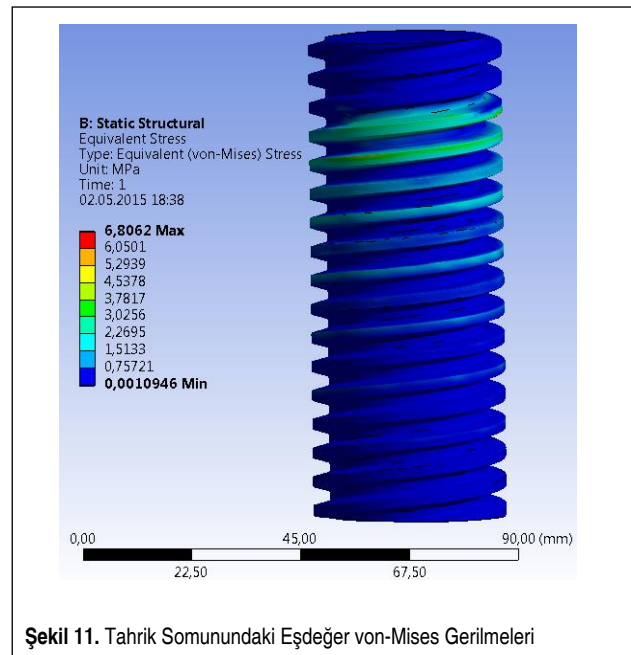
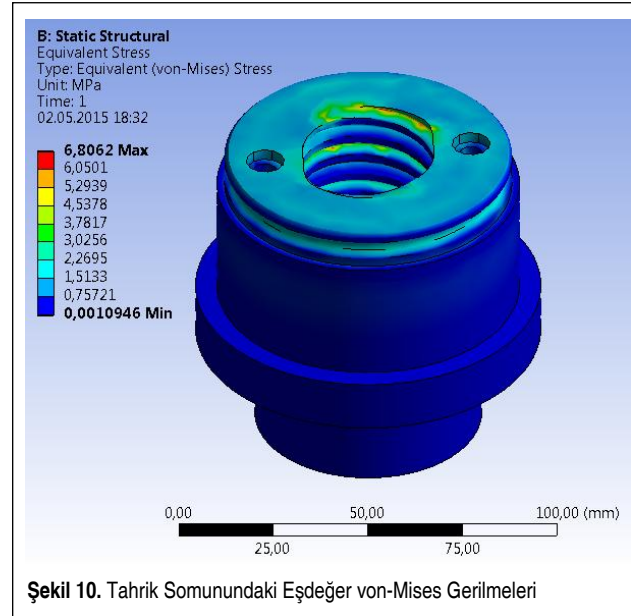
Gerekli kaldırma momenti artış farkları hatve değişimiyle, 40'lık milde 6 mm'den 10 mm'ye geçişte %17, 10 mm'den 20mm'ye geçişte %31'dir. 60'lık milde 6mm'den 10mm'ye geçişte %15, 10 mm'den 20 mm'ye geçişte %28'dir. 80'lik milde 6 mm'den 10 mm'ye geçişte %11, 10 mm'den 20 mm'ye geçişte %23'tür (Şekil 7, 8, 9).

Çap değişimiyle incelediğimizde 10000N'luk değerleri 6 mm hatve referans alarak, 40 mm'lik çaptan 60 mm'lik çapa geçişte kaldırma momenti %13 artarken, 60 mm'lik çaptan 80 mm'lik çapa geçerken %23'lük bir artış göstermektedir. Bu durum, mil çapının artırılmasının titreşim tokluğuna olumlu etkisinin,

motor gücüne ve elektrik sarfiyatına olumsuz etkisine sebep olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, olabilecek en küçük mil çapında kurulan sistemler aynı yükü kaldırırken, daha küçük motora sahip olup daha düşük elektrik sarfiyatına aynı işi daha yüksek enerji verimliliğiyle yapabilir. Mil çapının azalmasının narinliği arttıracak, dolayısıyla titreşim problemini arttıracak da ayrıca değerlendirmek gerekmektedir.

3.2 Sonlu Elemanlar Analizi Çıktıları

60 mm diş üstü çapındaki 2 ağızlı mile, uygulama koşullarında etkiyen 4000N'luk dikey yükün etkileri Şekil 10'da görülmektedir.



Somun üzerindeki gerilmelerin, diş profilinin başladığı bölgede biriktiği ve diş diplerinde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Analiz sonuçları değerlendirilirken, tek bir düğüm noktasında aşırı gerilmelerin oluşup oluşmadığına dikkat edilmiştir.

Sonuçların incelenmesi sırasında, vidanın girintili bir yapıya sahip olması, dolayısıyla birkaç nod üzerinde aşırı bir gerilimin yığılmasının olması, sonucun istenmeyecek şekilde iraksamasına neden olabilir. Gerilim yığılmaları dikkatle kontrol edilmelidir.

Şekil 11'den, somun üzerindeki eşdeğer gerilmelerin somun temasının olduğu ilk 3-4 dişe kademeli olarak yayıldığı anlaşılmaktadır. Vida iki ağızlı olduğu için en fazla yükü taşıyan ilk iki helis aşlında sıkma vidalarındaki ilk diş gibi düşünülebilir. Bu durum, sıkma vidalarında ilk 3 dişin toplam yükün yaklaşık %80'ini taşıdığı kuralını doğrular niteliktedir.

Yapılan zamana bağlı analizdeki sonucun statik analizdeki sonuçtan çok farklılaşmadığı ancak yükün arttığı gözlenmiştir.

4. SONUÇ

Formüllerin Matlab'a aktarılması ile elde edilen farklı parametrelere ait aritmetik sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar Ek-B Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te görülebilir. Farklı vida parametreleriyle yapılan sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen sonuçlarda diş dibi gerilmeleri karşılaştırılmıştır. Bu gerilme değerlerinin blok diyagramlardan elde edilen sonuçlar ile tutarlı olduğu gözlenmiştir. Tanımlanan mil somun parametrelerinin girdi olarak verilmesiyle elde edilecek diş gerilmelerine ulaşılması sağlanmıştır. Kapalı devre otomatik kontrol bloğunun diyagrama adapte edilmesi ile talep edilen

değişken koşullar ve yükler için gerekli optimum vida somun parametrelerine ulaşmak mümkündür.

Sonlu elemanlar analizinin sonucunda, toplamda 7. dişin hiç yük taşımadığı gözlenmiştir. Bu durum, ideal somun boyu için bir fikir vermektedir.

İdeal sonuçlar için yapılacak çalışmalarda somun ve vida malzemesinin çalışma koşullarındaki sürtünme katsayısı deneysel olarak ortaya konulabilir. Hızın artmasıyla gerilme değerinin düşmesi aritmetik hesaplarda olduğu gibi, yapılan analizde ve blok diyagramlardan elde edilen sonuçlarda gözlenmiştir.

Mevcut üründe somun dişlerinin gerilme değeri akma dayanımından yaklaşık 12 kat daha düşük olduğu için somun malzemesi için çok çeşitli malzemeler düşünülebilir. Somuna gelen yüklerin aşırı olmaması sebebiyle, bronz yerine mühendislik plastiklerinin kullanımı araştırılmalıdır. Zira günümüzde katı yağ, sıvı yağ ve hatta grafit emdirilmiş döküm poliamid çeşitleri (kestlub, kestoil, kestamid-GRF vb.) sürtünerek çalışan metallerin yerini hızla almaktadır.

Trapez vidadan kare vidaya doğru α değişirken en uygun değer, standartlaştırılmış bir imal yönteminde, farklı trapez açılarının titreşime etkisi ancak ampirik olarak elde edilebilir. Diş dibindeki kalınlığın trapez vidada kare vidaya göre daha kalın bir çelik tabakasının olması, kare vidaya göre belli şartlarda titreşim mukavemetinin daha yüksek olabileceğinin de göstergesidir.

Kare vidalara göre trapez vidalar, somun yükünü diş yüzeyine daha iyi yayacağı için konstrüktif olarak daha verimli olduğu söylenebilir. Kaldı ki kare dişin bir standardı yok iken üçgen (DIN13/30), Whitworth (DIN11), Trapez (DIN103-DIN378-DIN379), Testere (DIN513) profiller için çeşitli standartlar belirlenmiştir. Ayrıca kare vidadaki çentik etkisi faktörü trapez vidaya göre daha tehlikeli olduğu için, çalışma esnasında sürekli titreşime maruz kalan konstrüksiyonlarda ayrıca dikkat edilmelidir.

Vidalı millerde otoblokajın olmaması, dikey yük taşıma platformlarında kullanım cazibesini kaybetmesine sebep olsa da hareket başlangıç ve bitiş anlarında motorun hareketinin sonlanmasıyla çalışacak bir fren mekanizması ile ya da motorun durma anındaki tutma torku ile yapılacak bir hesaplama doğrultusunda bu tarz sistemlerdeki fren problemi ortadan kaldırılabilir. Fakat bu durum, dikey taşıma sistemlerinde vida somun mekanizmasının kullanımının önemli nedenlerinden biri de fazladan bir fren mekanizması ihtiyacını ortadan kaldırması olduğu için tercih edilmemektedir. Bu tercihin yapılması yerine kendinden frenli motorlar da kullanılabilir. Engelli standardında, normalde kapalı ve frenin elle devre dışı bira-

kılabildiği tahrik sistemlerine izin verilmiştir. Öyle ki elektrik kesintisinde otomatik olarak motor freni kapanacaktır.

Yük, hareket halindeyken sürtünme kaynaklı yukarı doğru bir burkulma kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvet, titreşimi oluşturan dengesiz yüke sebebiyet vermektedir. Dengesiz yükler, titreşim formüllerinin mekanizmaya uygulanmasını mümkün hale getirmektedir. Vidalı mekanizmada çıkılan yüksek hızlar için tek hızlı motor yerine diferansiyel değişkenli motor kullanılmalıdır. Bu sayede, ilk andan maksimum hıza geçişlerde ve duruşmada hissedilen ivme azalacak, aşınma sorunu azalacak ve ürün konforu arttırılabilecektir.

Mil üzerindeki vidanın ayrı bir yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulması maliyetli olacağından daha iyi mukavemet, daha düzgün yüzey pürüzlülüğü, dolayısıyla daha iyi sürtünme katsayısı elde edilmesi için dişlerin ovalama ile açılması tercih edilmelidir.

Somun ile vidalı mil arasında yağ filmi oluşturma şartlarının incelenmesiyle somun malzemesi seçimi daha doğru yapılabilir. Analizde, dönmeye karşılık öteleme hareketinin tanımlanması için farklı yaklaşımlar deneyerek kıyaslanabilir ve blok diyagramlarla kontrolü sağlanabilir.

KAYNAKÇA

1. **Chen, J. S., Huang, Y. K., Cheng, C. C.** 2004. "Mechanical Model and Contouring Analysis of High-Speed Ball-Screw Drive Systems with Compliance Effect," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 24, p. 241-250.
2. **Kim, M. S., Chung, S. C.** 2006. "Integrated Design Methodology of Ball-Screw Driven Servomechanisms with Discrete Controllers. Part I: Modelling and Performance Analysis," Mechatronics, vol. 16, p. 491-502.
3. **Poignet, P., Gautier, M., Khalil, W.** 1999. "Modeling, Control and Simulation of High Speed Machine Tool Axis," Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 19-23 September 1999, p. 617-622, Atlanta, USA.
4. **Yang, T., Lin, C. S.** 2004. "Identifying the Stiffness and Damping Parameters of a Linear Servomechanism," Mechanics Based Design of Structures and Machines, vol. 32 (3), p. 283-304.
5. **Van Brussel, H., Sas, P., Istvan, N., De Fonseca, P., Van Den Braembussche, P.** 2001. "Towards a Mechatronic Compiler," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 6 (1), p. 90-105.
6. **Schafers, E., Denk, J., Hamann, J.** 2006. "Mechatronic Modeling and Analysis of Machine Tools," Proceedings of the

2nd International Conference on High Performance Cutting, 12-13 June 2006, p. 517-523, Vancouver, Canada.

7. **Pislaru, C., Ford, D. G., Holroyd, G.** 2004. "Hybrid Modelling and Simulation of a Computer Numerical Control Machine Tool Feed Drive," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, vol. 218, p. 111-120.
8. **Varanasi, K. K., Nayfeh, S. A.** 2004. "The Dynamics of Lead-Screw Drives: Low-Order Modeling and Experiments," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol. 126, p. 388-396.
9. **Whalley, R., Ebrahimi, M., Abdul-Ameer, A. A.** 2006. "Machine Tool Axis Dynamics," Proceedings of IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, vol. 220, p. 403-419.
10. **Argyris, J., De Donno, M., Litvin, F. L.** 2000. "Computer Program in Visual Basic Language for Simulation of Meshing and Contact of Gear Drives and its Application for Design of Worm Gear Drive," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 189, p. 595-612.
11. **Allotta, B., Angioli, F., Rinchi, M.** 2001. "Constraints Identification for Vibration Control of Time-Varying Boundary Conditions Systems," Proceedings of the 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 8-12 July 2001, p. 606-611, Como, Italy.
12. **Erkorkmaz, K., Kamalzadeh, A.** 2006. "High Bandwidth Control of Ball Screw Drives," Annals of the CIRP, vol. 55 (1), p. 393-398.
13. **Zhou, Y., Peng, F., Chen, J.** 2007. "Torsion Vibration Analysis of Lead-Screw Feed Drives with Changeable Table Position and Work-piece Mass," Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 5-8 August 2007, p. 2194-2199, Harbin, China.
14. **Cuttino, J. F., Dow, T. A.** 1997. "Contact between Elastic Bodies with an Elliptic Contact Interface in Torsion," ASME Journal of Applied Mechanics, vol. 64, p. 144-148.
15. **Lin, M. C., Ravani, B., Velinsky, S. A.** 1994. "Kinematics of the Ball Screw Mechanism," ASME Journal of Mechanical Design, vol. 116, p. 849-855.
16. **Budynas, R., Nisbett, J.** 2010. Shingley's Mechanical Engineering Design, ISBN: 978-0-07-339820-4, Mcgraw Hill, New York, USA, Example 8-1, p. 419-421.
17. TSE-TS ISO 1122-2. 2006. Dişli Terimleri - Bölüm 2: Sonsuz Vida Dişli Geometrisi ile İlgili Tarifler (Definitions Related to Worm Gear Geometry).

EKLER

Ek A: Örnek Bir Problemin Açıklamalı Çözümü ile Matlab Simülink ile Hazırlanmış Blok Diyagramlar Üzerindeki Çözümü [16]

Problem:

Kare profil çift ağızlı bir güç vidasının en büyük çapı 32 mm ve hatvesi 4 mm'dir. Vida, dikey olarak yük kaldırmak için bir somunun tahrik edilmesi suretiyle kullanılmaktadır. Verilen diğer bilgiler şöyledir; $f = f_c = 0.08$, $d_c = 40$ mm ve vida başına $F = 6.4$ kN

- a) Yükü kaldırmak ve indirmek için gerekli olan torku bulunuz.
- b) Yükü kaldırma durumundaki verimi bulunuz.
- c) Mildeki gerilimleri, basma ve burulma gerilimlerini bulunuz.
- d) Tek dişte oluşan eğilme gerilmesini bulunuz.
- e) Diş dibindeki von Mises gerilimini belirleyiniz.

Aritmetik çözüm:

$$a) \quad d_m = d - p / 2 = 32 - 4 / 2 = 30 \text{ mm}$$

$$l = p.n = 2(4) = 8 \text{ mm}$$

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) + \left(\frac{Ff_c d_c}{2} \right)$$

$$= \frac{6,4(30)}{2} \left[\frac{8 + \pi(0,08)(30)}{\pi(30) - 0,08(8)} \right] + \left[\frac{6,4(0,08)40}{2} \right]$$

$$= 15,94 + 10,24 = 26,18 \text{ Nm}$$

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - 1}{\pi d_m + fl} \right) + \left(\frac{Ff_c d_c}{2} \right)$$

$$= \frac{6,4(30)}{2} \left[\frac{\pi(0,08)30 - 8}{\pi 30 + 0,08(8)} \right] + \left[\frac{6,4(0,08)(40)}{2} \right]$$

$$= -0.466 + 10.24 = 9,77 \text{ Nm}$$

b)

$$e = \frac{Fl}{2\pi T_R} = \frac{6,4(8)}{2\pi(26,18)} = 0,311$$

c)

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_d^3} = \frac{16(26,18)(10^3)}{\pi(28^3)} = 6,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma = -\frac{4F}{\pi d_d^2} = -\frac{4(6,4)10^3}{\pi(28^2)} = -10,39 \text{ MPa}$$

d)

$$\sigma_t = \frac{6(0,38F)}{\pi d_d(1)p} = \frac{6(0,38)(6,4)(10^3)}{\pi(28)(1)4} = 41,5 \text{ MPa}$$

e)

$$\sigma_x = 41,5 \text{ MPa} \quad \tau_{xy} = 0$$

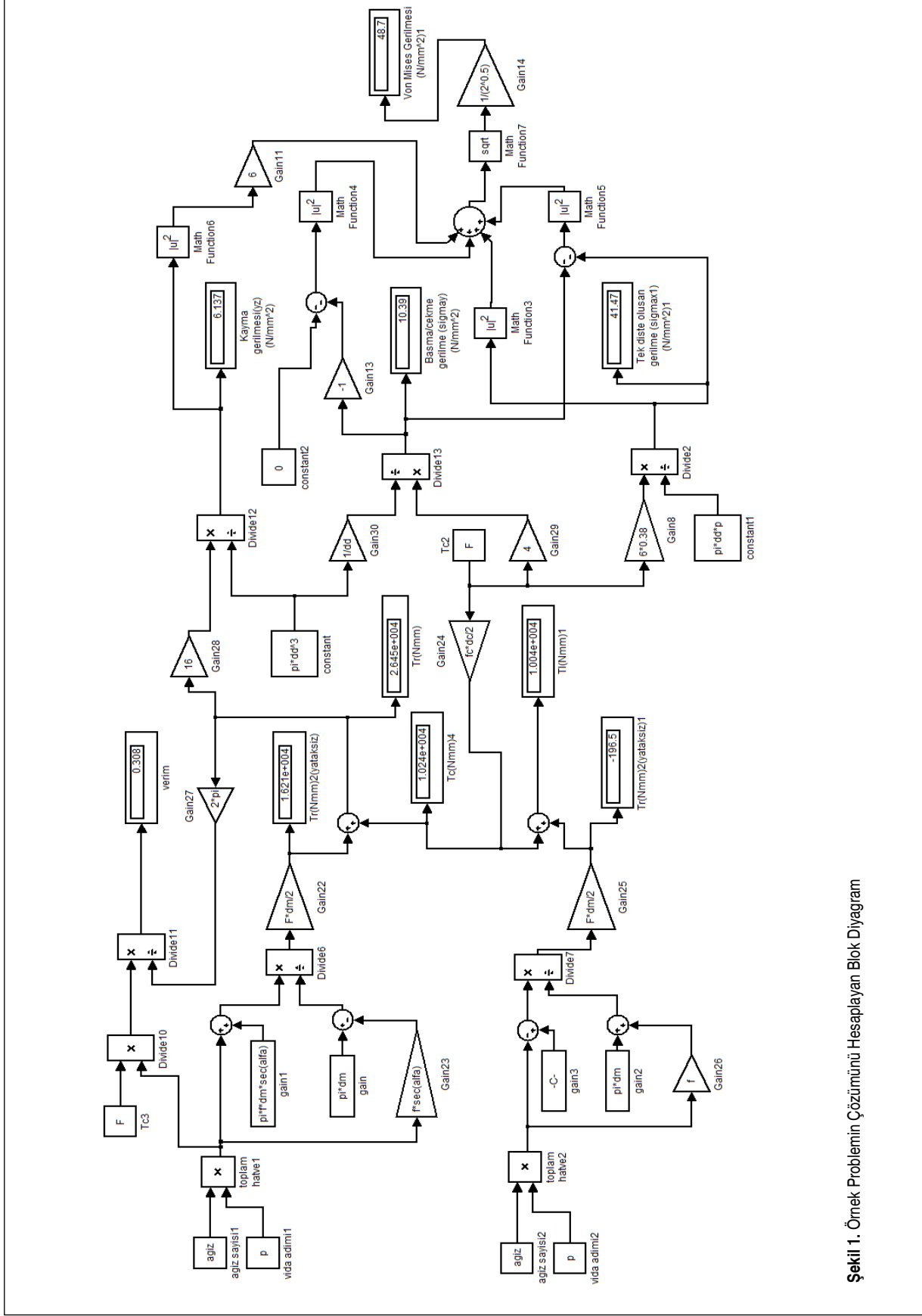
$$\sigma_y = -10,39 \text{ MPa} \quad \tau_{yz} = 6,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = 0 \quad \tau_{zx} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ (41,5 - 0^2 + [0 - (-10,39)]^2 + \right. \\ \left. (-10,39 - 41,5)^2 + 6(6,07)^2 \right\}^{1/2}$$

$$= 48,7 \text{ MPa}$$

Ek A



Şekil 1. Örnek Problemin Çözümünü Hesaplayan Blok Diyagramı

Ek B: Blok Diyagramlardan Elde Edilen Değerlerin Çizelgeleri

Ek B - Tablo 1. Blok Diyagramlardan 4000N için Elde Edilen Değerler

Ağız	Sürtünme Kuvveti (f)	Yük (F)	Diş Üstü Çapı (d)	Diş Dibi Çapı (d _f)	Bölüm Dairesi Çapı (d _m)	Vida Adımı (p)	Vida Helis Açısı (λ)	Diş Dibi Çapı (d _f)	Verim (e)	Kaldırma Momenti (T _p)	Kaldırma Momenti (T _p)	Alçalma Momenti (T _L)	Kayma Gerilimi (τ _p)	Basma Çekme Gerilimi (σ _z)	Tek Dişte Oluşan Gerilme (σ _d)	Diş Dibi von Mises Gerilimi (σ _p)	750 d/d'de Hız	Oto Blokaj Durumu
-	-	N	mm	mm	mm	mm	derece	mm	-	Nmm	Nmm	Nmm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	m/s	-
2	0,09	4000	40	34	37	6	5,9	34	0,31	24330	24,3	8930	3,153	4,406	14,230	17,73	0,15	-
2	0,09	4000	40	34	37	10	9,8	34	0,43	29600	29,6	3920	3,835	4,406	8,538	13,19	0,25	-
2	0,09	4000	40	34	37	20	19,0	34	0,59	43050	43,1	-8340	5,579	4,406	4,269	12,24	0,50	-
2	0,09	4000	60	54	57	6	3,8	54	0,27	27910	27,9	12500	0,903	1,747	8,960	10,07	0,15	VAR
2	0,09	4000	60	54	57	10	6,4	54	0,38	33130	33,1	7452	1,071	1,747	5,376	6,09	0,25	-
2	0,09	4000	60	54	57	20	12,6	54	0,55	46360	46,4	-5005	1,499	1,747	2,688	4,66	0,50	-
2	0,09	4000	80	74	77	6	2,8	74	0,20	38700	38,7	23290	0,486	0,930	6,538	7,10	0,15	VAR
2	0,09	4000	80	74	77	10	4,7	74	0,29	43890	43,9	18220	0,552	0,930	3,923	4,56	0,25	VAR
2	0,09	4000	80	74	77	20	9,4	74	0,45	57020	57,0	5665	0,717	0,930	1,961	2,84	0,50	-

EK B - Tablo 2. Blok Diyagramlardan 8000N İçin Elde Edilen Değerler

Ağız	Sürtünme Kuvveti (f)	Yük (F)	Diş Üstü Çapı (σ)	Vida Adımı (p)	Bölüm Dairesi Çapı (d _m)	Helis Açısı (λ)	Diş Dibi Çapı (d _d)	Verim (e)	Kaldırma Momenti (T _p)	Kaldırma Momenti (T _r)	Alçalma Momenti (T _L)	Kayma Gerilimesi (τ _{yz})	Basma Çekme Gerilimesi (σ _z)	Tek Dişte Oluşan Gerilime (σ _x)	Diş Dibi von Mises Gerilimesi (σ _y)	750 d/d'de Hız	Oto Blokaj Durumu
-	-	N	mm	mm	mm	derece	mm	-	Nmm	Nmm	Nmm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	m/s	
2	0,09	8000	40	6	37	5,9	34	0,31	48670	48,7	17860	6,306	8,811	28,460	35,46	0,15	-
2	0,09	8000	40	10	37	9,8	34	0,43	59190	59,2	7840	7,670	8,811	17,080	26,39	0,25	-
2	0,09	8000	40	20	37	19,0	34	0,59	86100	86,1	-16680	11,160	8,811	8,538	24,48	0,50	-
2	0,09	8000	60	6	57	3,8	54	0,27	55820	55,8	25010	1,805	3,493	17,920	20,14	0,15	VAR
2	0,09	8000	60	10	57	6,4	54	0,38	66250	66,3	14900	2,143	3,493	10,750	13,38	0,25	-
2	0,09	8000	60	20	57	12,6	54	0,55	92720	92,7	-10010	2,999	3,493	5,376	9,32	0,50	-
2	0,09	8000	80	6	77	2,8	74	0,20	77390	77,4	46590	0,973	1,860	13,080	14,20	0,15	VAR
2	0,09	8000	80	10	77	4,7	74	0,29	87780	87,8	36440	1,103	1,860	7,846	9,13	0,25	VAR
2	0,09	8000	80	20	77	9,4	74	0,45	114000	114,0	11330	1,433	1,860	3,923	5,68	0,50	-

EK B - Tablo 3. Blok Diyagramlardan 10000N İçin Elde Edilen Değerler

Ağız	Sürtünme Kuvveti (f)	Yük (F)	Diş Üstü Çapı (σ)	Vida Adımı (p)	Bölüm Dairesi Çapı (d _m)	Helis Açısı (λ)	Diş Dibi Çapı (d _d)	Verim (e)	Kaldırma Momenti (T _p)	Kaldırma Momenti (T _r)	Alçalma Momenti (T _L)	Kayma Gerilimesi (τ _{yz})	Basma Çekme Gerilimesi (σ _z)	Tek Dişte Oluşan Gerilime (σ _x)	Diş Dibi von Mises Gerilimesi (σ _y)	750 d/d'de Hız	Oto Blokaj Durumu
-	-	N	mm	mm	mm	derece	mm	-	Nmm	Nmm	Nmm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	m/s	
2	0,09	10000	40	6	37	5,9	34	0,31	60830	60,8	22320	7,883	11,010	35,580	44,33	0,15	-
2	0,09	10000	40	10	37	9,8	34	0,43	73990	74,0	9801	9,588	11,010	21,350	32,98	0,25	-
2	0,09	10000	40	20	37	19,0	34	0,59	107600	107,6	-20850	13,950	11,010	10,670	30,60	0,50	-
2	0,09	10000	60	6	57	3,8	54	0,27	69770	69,8	31260	2,257	4,366	22,400	25,18	0,15	VAR
2	0,09	10000	60	10	57	6,4	54	0,38	82810	82,8	18630	2,679	4,366	13,440	16,73	0,25	-
2	0,09	10000	60	20	57	12,6	54	0,55	115900	115,9	-12510	3,748	4,366	6,720	11,65	0,50	-
2	0,09	10000	80	6	77	2,8	74	0,20	96740	96,7	58230	1,216	2,325	16,350	17,75	0,15	VAR
2	0,09	10000	80	10	77	4,7	74	0,29	109700	109,7	45550	1,379	2,325	9,807	11,41	0,25	VAR
2	0,09	10000	80	20	77	9,4	74	0,45	142500	142,5	14160	1,792	2,325	4,904	7,11	0,50	-