

# TÜRKİYE'DE KESİNLİK TEKNOLOJİLERİ EĞİTİM PROGRAMLARININ GELİŞTİRİLMESİ

**B. Koray TUNÇALP**  
**Samet Burçin AYDOĞMUŞ**

## ÖZET

Bu çalışmada, dünyada yüksek teknoloji ürün üretmenin temelini oluşturan kesinlik (hassasiyet) mühendisliği alanında ülkemizin mevcut durumunun yanında konuyla ilgili ön lisans, lisans ve lisansüstü eğitim seviyelerinde yapılması gerekenler üzerinde durulmuştur. İleri teknolojiye sahip ülkelerin ekonomik zorluklar yaşamamasının temelini baktığımızda katma değeri yüksek ürünleri üretmedeki becerileri ve bu becerilere sahip personel kaynağı net şekilde görülmektedir. Gelir seviyesi en yüksek ülkelerden Almanya, Japonya ve İsviçre; mekatronik ve mekanik sistemler, kalibrasyon, hassas ürünler konusunda oldukça önemli yetkinliklere sahiptirler. Ülkemizde UME; TEİ, Aselsan, Roketsan, TUSAŞ, Havelsan, Zorlu Teknoloji, Bayraktar Makine gibi yüksek teknoloji ürünler ve hizmetler üreten kurumların varlığı bilinmektedir. Günümüzde bir ülkenin en önemli varlığı kaliteli insan gücü olduğuna göre ileri teknolojinin temelini oluşturan kesinlik teknolojisinde bugüne kadar neden yetkin insanlar yetiştirmediğimizde ayrı bir araştırma konusudur.

**Anahtar Kelimeler:** Kesinlik mühendisliği, Kesinlik teknikerliği, Yüksek öğretim, Hassasiyet, Kaliteli personel.

## ABSTRACT

In this study, besides the current situation of our country in the field of precision engineering which forms the basis of producing high-tech products in the world, it is emphasized what needs to be done in associate, undergraduate and graduate education levels. When we look at the basis of the fact that countries with advanced technology do not experience economic difficulties, their skills in producing high value-added products and the resource of personnel with these skills are clearly seen. The countries with the highest income levels are Deutschland, Japan and Switzerland; mechatronics and mechanical systems, calibration, precision products are very important competencies. It is known that there are institutions producing high technology products and services such as TEI, Aselsan, UME, Roketsan, TAI, Havelsan, Zorlu Technology, Bayraktar Machine. Since the most important asset of a country today is quality manpower, it is a separate research topic in the sensitivity technology, which forms the basis of advanced technology, when we have not trained competence people so far.

**Key Words:** Precision engineering, Precision technician, Higher education, Precision, Qualified personnel.

## 1. GİRİŞ

Dünyada kesinlik mühendisliği felsefesi, 1930'lu yılların başına dayanmaktadır. Günümüzde Japon Kesinlik Mühendisliği Derneği (JSPE), Amerikan Kesinlik Mühendisliği Derneği (ASPE), Avrupa Kesinlik Mühendisliği ve Nanoteknoloji Derneği (EUSPEN) ve Uluslararası Üretim Araştırma Akademisi (CIRP) gibi bu mühendislik disiplini bilinen meslek örgütleri kesinlik mühendisliği alanında önemli çalışmalar yapmaktadırlar. JSPE'nin ilk amacı, görevlerinden biri olan yüksek doğruluğu yakalayan hassas makineler üzerinde araştırma yapmaktır. O zamanlar imalat mühendisliği konusundaki kesinliğin uygunluğuna rağmen, bu konunun sistematik bir organizasyonu olmadığından, konuyla ilgili ders kitapları da bulunmuyordu, ancak eğitim olarak üniversitelerde ya da tesadüfen

çeşitli firmalarda okutulmuştu. Bununla birlikte, 1990'ların başında, Nakazawa'nın "Kesinlik Mühendisliğinin İlkeleri" başlıklı kitabı, yayımlandığında bu konuda kayda değer bir etki yarattı ve yüksek hassasiyetli makinelerin tasarım ve üretim prensiplerini açıkladı. Tamamen yüksek hassasiyetli makinelerin tasarımı ve geliştirilmesi ve kapsamlı yetenek kontrol sistemleri ile birlikte yüksek ultra kesinlikli üretim işlemlerine bağlı olan geniş bir ileri teknoloji ürünleri yelpazesi bulunmaktadır. Günümüzde, yüksek kesinlikli ürünleri ucuz ve hızlı bir şekilde üretmeye önem verildiği görülmektedir. Artan parça işleme kesinliğinin geçmişi, katma değerli ürünler yaratmak için sürekli artan bir talep olduğunu göstermektedir. İşleme teknolojisindeki ilerleme nedeniyle yüksek performanslı, yüksek katma değerli bilgisayarların üretilmesi mümkün olmuştur [1].

## 2. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ

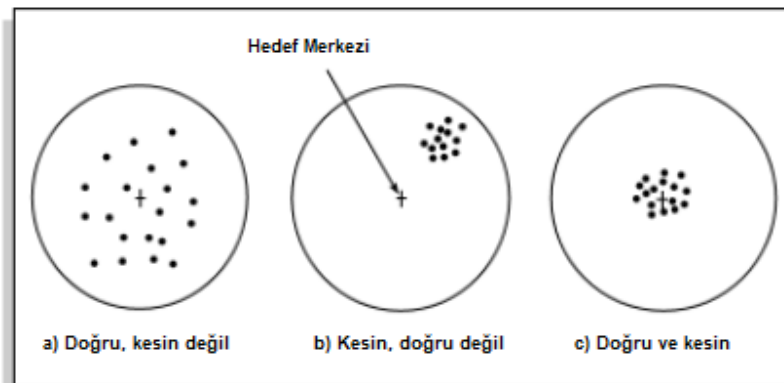
Kesinlik (hassasiyet) mühendisliği, modern ileri uygarlığımızın temellerini oluşturan, çeşitli alanlarda, katma değeri yüksek ürünler doğrudan ve dolaylı olarak yaratma bilimidir. Nakazawa, kesinlik mühendisliğini, yüksek kesinlikli makineleri üretmek için sistematik bilgi ve ilkeler kümesi olarak tanımlamıştır. Temelde, kesinlik mühendisliğinin yüksek hassasiyetli tezgahların yaratılmasıyla ilgili olduğu kanısı hakimdi ve bu onların tasarımını, üretimini ve ölçümünü içeriyordu. Bu fikir, Profesör Aoki tarafından kurulan Hassas Makinalar Derneğinin ilk konseptiyle uyumludur. Makine uzunluk ölçme makineleri, tartı makineleri, zaman tutma makineleri ve diğer metrolojik aletleri, ayrıca hassas tezgahları ve mastar ve bilyalı / makaralı rulmanlar gibi mekanik elemanları içerir. Taniguchi ve McKeown'un hassas mühendislik konusundaki görüşleri, yüksek kesinlikli makinelerin yaratılmasının ötesine geçmektedir. McKeown, kesinlik mühendisliğini metrolojinin üretime gittikçe artan uygulamalarına cevap olarak 1979 yılında ortaya çıkan bir mühendislik ve bilimsel beceri ve teknik grubu olarak tanımlamıştır [1].

Kesinlik mühendisliği kavramı, malzemelerin hassas işlenmesini, bilgi işlem sistemlerini, kontrol sistemlerini ve CAD ve CAM sistemlerini içeren insansız üretim sistemlerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Kesinlik mühendisliği, uydu roketarı kadar büyük olanlardan mikroçip kadar küçük olanlara kadar geniş bir yelpazede ebatlara sahip ürünlerin üretimi ile ilgilidir. Tabii ki, kesinlik mühendisliği ürünlerinin büyüklüğünün mutlak boyutları çok çeşitlidir, ancak gerçek şu ki ilgili göreceli doğruluklar karşılaştırılabilir olabilir. Bu nedenle kesinlik mühendisliği, uzunluk ve açı gibi metroloji parametrelerine büyük ölçüde bağımlı olduğu düşünülmektedir.

Kesinlik mühendisliği; mekatronik mühendisliği, elektrik mühendisliği, yazılım mühendisliği, elektronik mühendisliği, makine mühendisliği ve son derece düşük toleranslara sahip makineler, armatürler ve diğer yapıların tasarlanmasıyla ilgili optik mühendisliğin bir alt disiplini [2].

### 2.1. Doğruluk ve Kesinlik Arasındaki Fark

İnsanlar genel olarak doğruluk ve hassasiyeti (kesinliği) bir ve aynı anlama sahip olarak görme eğiliminde olduklarından, hassas mühendislik tartışmasını anlamak için bu iki terim arasındaki farkın vurgulanması oldukça önemlidir (Şekil 1).



Şekil 1. Doğruluk ve kesinlik (hassasiyet) arasındaki fark [1].

Kesinlik (hassasiyet) doğruluğu, ölçülen boyutun gerçek büyüklüğü ile uyuma derecesini ifade eder veya bir başka deyişle, hedeflenen şeyi vurma kabiliyetidir. Oysa kesinlik terimi, aynı standardın tekrarlanan ölçümleri yapıldığında aynı değeri verebilen bir cihazın derecesini belirtir. Kısacası kesinlik bir cihazın tekrarlanabilirliği ile ilgilidir [1].

### 3. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ İLGI ALANLARI

Kesinlik Mühendisliği genel olarak aşağıdaki konulara odaklanır:

- Araştırma,
- Tasarım,
- Geliştirme,
- Ekipman ve sistemlerin yüksek doğrulukla üretimi ve ölçümü.

Kesinlik mühendisliğinin ilgi alanına giren üretim ve test konulardan bazıları şunlardır:

Kesinlik kontrolleri, metroloji, interferometre, malzemeler, nanoteknoloji, optik imalatı, hassas optikler, hassas kopyalama, tarama mikroskopları, yarıiletken işleme, standartlar ve ultra – hassas makine yapımı [3].

#### 3.1. Kesinlik Mühendislerinin Görevleri

Kesinlik mühendisliği; havacılık, petrol ve gaz, tıbbi cihazlar ve elektronik gibi çeşitli endüstriler için bel kemiğidir. Herhangi bir özel parçanın veya hareketli parçanın tam özelliklere göre tasarlanmasını ve yapılmasını sağlar. En çok aranan spor arabaları, mobil cihazları ve yüksek güçlü lazer yazıcıları bir araya getiren robot kollardan, 3D yazıcılar üretmeye kadar cilt dokusunu ve havacılık bileşenlerini yazdırır [4].

Otomobiller, ev elektroniği ve endüstriyel tesislerin hepsinde mekatronik modülleri vardır. Bu cihazlar çok küçük tasarım alanlarında mekanik yapıları sensörler, elektrikli sürücüler, optik bileşenler, elektronik ve yazılımlarla birleştirir. Mekatronik mühendisleri, modelleme / analiz yetenekleri ve deney / donanım uygulama becerileri dengesi ile tanımlanırlar. Çalışmalarında, mekatronik mühendisleri sayısız alanda teknik ilerlemeyi desteklemektedir. Yine inovasyon ve uygulama odaklılık bu alana giren bireylerin temel özellikleridir [5].

#### 3.2. Kesinlik Metrolojisi

Kesinlik metrolojisi (boyutlu metroloji), ekipmanların kalibrasyonu ve herhangi bir nesnenin boyutlarını (boyut, uzunluk, açı, mesafe gibi) ölçmek için fiziksel ölçüm ekipmanı kullanmaktır. Kesinlik metrolojinin nihai amacı, aşağıdaki dört ölçüm açısından yüksek düzeyde bir yetkinliğe ulaşmak olacaktır [2].

**Tablo 1.** Kesinlik metrolojisi ölçüm kriterleri

Konular	Tanımı
Doğruluk	Ölçümlerin doğruluk derecesi, parçanın gerçek boyutlarına karşılık gelir
Kesinlik	Ölçümün tutarlı olması çoğaltılamaz.
Güvenilirlik	Doğruluk tutarlılığı, ekipmandan zamanla alınan ardışık ölçümlerle sonuçlanır.
İzlenebilirlik	Devam eden ölçümler, parçanın gerçek boyutlarına karşılık gelir.

### 4. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARI

Kesinlik mühendisliğinin eğitimleri, farklı ülkelerde lisansüstü, lisans, ön lisans ve sertifika programları şeklinde verilmektedir. Kesinlik mühendisliği eğitimlerinin verildiği belli başlı ülkeleri; Almanya, Japonya, ABD, İngiltere, Singapur, İrlanda ve Bulgaristan olarak sayabiliriz. Bu eğitimlerin içerikleri, edinilmesi gereken temel beceriler dışında ülkelerde yoğunlaşan teknolojilere odaklanmıştır. Optik teknolojilerinden yüksek kaliteli makine takım teknolojilerine, lazer kesim teknolojilerinden MEMS'e kadar geniş bir aralık söz konusudur.

**Tablo 2.** Dünyadaki çeşitli seviyelerde kesinlik mühendisliği bölümleri, programları ve sertifika programları

Bölüm / Program Adı	Ülke	Kurum Adı	Eğitim Seviyesi / Süresi	Bağlantı
Mekatronik – Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Münih Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	<a href="http://www.fb06.fh-muenchen.de/fb/index.php/en/graduate.html">http://www.fb06.fh-muenchen.de/fb/index.php/en/graduate.html</a>
İleri Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Furtwangen Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	<a href="https://www.hs-furtwangen.de/en/programmes/advanced-precision-engineering-master/">https://www.hs-furtwangen.de/en/programmes/advanced-precision-engineering-master/</a>
Mikro, Kesinlik ve Optik Mühendisliği	Almanya	Stuttgart Üniversitesi	Yüksek Lisans	<a href="https://www.ikff.uni-stuttgart.de/en/index.html">https://www.ikff.uni-stuttgart.de/en/index.html</a>
Hassas Makine Mühendisliği	Almanya	Göttingen Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Yüksek Lisans	<a href="https://www.hawk.de/de/studium/studiengaenge/master-engineering-praezisionsmaschinenbau-goettingen">https://www.hawk.de/de/studium/studiengaenge/master-engineering-praezisionsmaschinenbau-goettingen</a>
Makine Kesinliği Mühendisliği	Malezya - Japonya	Malezya – Japonya Teknoloji Üniversitesi	Yüksek Lisans ve Lisans	<a href="http://mjiit.utm.my/master-of-mechanical-precision-engineering/">http://mjiit.utm.my/master-of-mechanical-precision-engineering/</a>
Mekatronik / Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Georg Simon Ohm Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.th-nuernberg.eu/home/faculties/electrical-engineering-precision-engineering-information-technology/page.html">https://www.th-nuernberg.eu/home/faculties/electrical-engineering-precision-engineering-information-technology/page.html</a>
Kesinlik Mühendisliği	Almanya	Ernst-Abbe Hochschule Jena Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.eah-jena.de/de-de/studium/studienangebote/Bachelor-Feinwerktechnik-Precision-Engineering">https://www.eah-jena.de/de-de/studium/studienangebote/Bachelor-Feinwerktechnik-Precision-Engineering</a>
Kesinlik Mühendisliği	Japonya	Tokyo Üniversitesi	Yüksek Lisans	<a href="http://www.pe.t.u-tokyo.ac.jp/en/index.html">http://www.pe.t.u-tokyo.ac.jp/en/index.html</a>
Kesinlik Mühendisliği	Malezya	Kuala Lumpur Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.unikl.edu.my/programme/bachelor-of-engineering-technology-hons-in-tool-and-die/">https://www.unikl.edu.my/programme/bachelor-of-engineering-technology-hons-in-tool-and-die/</a>
Kesinlik Mühendisliği	Japonya	Tokai Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.u-tokai.ac.jp/english/staff/academics/ODUyMTYw">https://www.u-tokai.ac.jp/english/staff/academics/ODUyMTYw</a>
Hassas Cihazlar	Çin	Tsinghua Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.tsinghua.edu.cn/publish/dpien/6911/index.html">https://www.tsinghua.edu.cn/publish/dpien/6911/index.html</a>
Kesinlik Mühendisliği	İngiltere	Cranfield Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.cranfield.ac.uk/academic-disciplines/precision-engineering">https://www.cranfield.ac.uk/academic-disciplines/precision-engineering</a>
Kesinlik Mühendisliği ve Tasarım	İrlanda	Sligo Teknoloji Enstitüsü	Lisans	<a href="https://www.itsligo.ie/courses/beng-precision-engineering-design/">https://www.itsligo.ie/courses/beng-precision-engineering-design/</a>
Makine ve Kesinlik Mühendisliği	Bulgaristan	Gabrovo Teknik Üniversitesi	Lisans	<a href="https://www.tugab.bg/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=449&amp;Itemid=560&amp;lang=en">https://www.tugab.bg/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=449&amp;Itemid=560&amp;lang=en</a>
Hassas Talaşlı İmalat Teknikerliği	ABD	Midlands Meslek Yüksek Okulu	Ön Lisans	<a href="https://www.midlandstech.edu/career-guide/precision-machining-technician">https://www.midlandstech.edu/career-guide/precision-machining-technician</a>
Hassas Tarım Ekipmanı Teknikerliği	ABD	Ivy Tech Meslek Yüksek Okulu	Ön Lisans	<a href="https://www.ivytech.edu/precision-agriculture/">https://www.ivytech.edu/precision-agriculture/</a>
Hassas Makine ve Üretim Teknikerliği	ABD	Lanier Meslek Yüksek OKulu	Ön Lisans	<a href="https://www.laniertech.edu/AcademicPrograms/LTCPrograms.aspx?id=21">https://www.laniertech.edu/AcademicPrograms/LTCPrograms.aspx?id=21</a>
Kesinlik Mühendisliği	İrlanda	Limerick Teknoloji Enstitüsü	Sertifika Programı	<a href="http://lit.ie/Courses/LC287/default.aspx">http://lit.ie/Courses/LC287/default.aspx</a>
Kesinlik Mühendisliği	Singapur	Singapur Üretim Teknolojileri Enstitüsü	Sertifika Programı	<a href="https://www.a-star.edu.sg/kto/Courses/Modular-Programmes/Precision-Engineering">https://www.a-star.edu.sg/kto/Courses/Modular-Programmes/Precision-Engineering</a>

## 5. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİM PROGRAMLARI



**Şekil 2.** Kesinlik mühendisliği optik üretiminde çalışan personel

Kesinlik mühendisliği; kapsamında çeşitli ülkelerde verilen eğitim içerikleri araştırılmış ve aşağıdaki konu başlıkları belirlenmiştir:

### **Lisansüstü seviyesinde:**

- Lazer kullanımı,
- Enjeksiyon kalıplama,
- Yüksek hızlı talaşlı imalat ve kesme takımları,
- İleri metal şekillendirme ve döküm teknikleri,
- İleri kaynak teknikleri,
- İleri otomotiv teknikleri,
- Titreşim analizleri,
- Çok parçalı gövde dinamiği,
- Tıp mühendisliği,
- Elektromekanik sürücülü lineer motorlar,
- Ultrasonik sürücüler,
- Nöro-mühendislik,
- Biyomedikal sinyallerin işlenmesi,
- Optik ve hassas mekanik sistemler.

### **Lisans seviyesinde:**

- Temel metroloji,
- Kesinlik mühendisliği elemanları,
- Sensörler ve aktüatörler,
- Termodinamik ve akışkanlar dinamiği,
- Mikroskopla ürün inceleme,
- Akışkanlar mekaniği,
- İleri malzeme kullanımı,
- FEM Sonlu Elemanlar Analizi,
- Mühendislik mekaniği,
- Elektrikli tahrik sistemleri,
- Optik iletişim,
- Kontrol elemanları,
- Katı modelleme,
- Üretim teknikleri,
- Mikro – hassas sürücüler,
- Mikroteknik ve MEMS,

- Çeşitli PC simülasyon programları,
- Modern üretim teknikleri,
- Ürün entegrasyonu,
- CAD / CAM
- İnovasyon yönetimi,
- CNC kullanımı,
- Yüzey işleme,
- Kesinlik metrolojisi.

#### **Ön Lisans seviyesinde:**

- Mühendislik teknolojisine giriş,
- Makine mühendisliği matematiğine giriş,
- CAD ve tasarım,
- CNC programlama ve operatörlük,
- Makine bakımı,
- Makine mühendisliği matematiği için PC programlama,
- Altı sigma ve metroloji,
- İleri CNC programlama.

## **6. KESİNLİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMLARI**

Kesinlik mühendisliği lisans ve/veya lisansüstü programları; UME; TEİ, Aselsan, Roketsan, TUSAŞ, Havelsan, Zorlu Teknoloji, TEC, Bayraktar Makine ve konuya ilgi duyan çeşitli üniversite birimleri ile ortak olarak düzenlenebilir. Özellikle UME'nin bilimsel ağırlıklı bunun yanında eğitim konusundaki çalışmaları; kesinlik mühendisliğinin hem ülkemizde kabul edilebilirliği açısından hem de gerekli özgün teknolojilerin öğretilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Kesinlik Mühendisliği için önerilen iki program; lisansüstü eğitim (uygulamalı yüksek lisans ve doktora) ile 2 yıllık ön lisans eğitimidir. Bunlar;

- 1- "Kesinlik Mühendisliği" adında 2 yıl süreli lisansüstü (yüksek lisans ve doktora) eğitim,
- 2- "Kesinlik Teknikerliği" adında 2 yıl süreli ön lisans eğitimidir.

Ülkemizde kesinlik mühendisliği ve kesinlik teknikerliği altyapısını oluşturacak potansiyel adaylar şunlardır:

#### **Kesinlik mühendisliği lisansüstü eğitim adayları:**

- Mühendislik fakültelerinde 4 yıllık tasarım ağırlıklı teknolojik eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, fizik, kimya, makine, mekatronik, metalurji, nükleer, tekstil, uçak, otomasyon ve kontrol mühendisleri,
- Teknoloji fakültelerinde 4 yıllık uygulama ağırlıklı teknolojik eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, kontrol, makine, mekatronik, otomotiv, metalürji ve tekstil mühendisleri,
- Teknik eğitim fakültelerinde 4 yıllık uygulama ağırlıklı eğitim alan elektrik, elektronik, bilgisayar, kontrol, makine, mekatronik, metal, tekstil teknik öğretmenleri.

#### **Kesinlik teknikerliği ön lisans eğitimi adayları:**

- Teknik ve meslek liselerinin elektrik, elektronik, bilgisayar, otomasyon, mekatronik, makine, otomasyon vb programlarından mezun olacak kişiler olmalıdır.

### 6.1. Örnek Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı 1

Lisansüstü programlarda ders içeriği belirlenirken ülkenin yükseköğretim hedefleri doğrultusunda belirlendiği sektörlerle ve o alanda çalışacak insanların niteliklerine göre derslerin belirlenmesi ve öğretilmesi önem arz etmektedir. Kesinlik mühendisliği yüksek lisans programına ilk örnek olarak, Almanya'daki Furtwangen Üniversitesi'nin (FHU) İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı incelenmiştir.

Furtwangen Üniversitesi İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programını seçmeyi düşünen adaylar "neden programı seçmesi gerektiği konusunda" aşağıdaki bilgilerle bilgilendirilmektedir:

- Geleceğe yönelik, ileri teknoloji ürünü yüksek hassasiyetli makro, mikro ve nanoteknoloji alanları için gereken bilgi ve beceriler,
- Makine mühendisliği ve mekatronik arasındaki arayüzde uygulanabilecek bilgi ve beceriler olağanüstü kariyer perspektifleri anlamına gelir,
- Hem akademik hem de endüstri geçmişine sahip birinci sınıf akademik kadrodan ders alma imkanı,
- Küçük gruplar ve kişisel danışmanlık alma imkanı [7].

**Tablo 3.** Furtwangen Üniversitesi İleri Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Dersleri

<b>Zorunlu Dersler:</b>	<b>HDS</b>	<b>AKTS</b>	<b>GYG</b>	<b>BYG</b>
Modelleme ve Simülasyon	4	5	X	X
Çoklu Gövde Dinamiği	4	5	X	X
Mekatronik Ürünlerin Geliştirilmesi	4	5	X	X
Mekatronik Sistemler için Veri İletişimi	4	5	X	X
Proje Modülü	4	10	X	X
Yüksek Lisans Tezi		30	X	X
<b>Zorunlu Seçmeli Dersler:</b>				
Medikal Aydınlatma Sistemleri ve İnsan Merkezli Aydınlatma	4	6		X
Sistemler Analizi ve Tasarım	4	6	X	X
Termo ve Akışkan Dinamiği	4	6		X
PC Destekli Ürün Geliştirme	4	6		X
Mekatronik için Malzemeler	4	6	X	X
Otomotiv Tahrik Sistemleri	4	6	X	X
Sensörler ve Aktüatörler	4	6	X	X
Ürün Geliştirme Projesi	4	6	X	X
Ürünler ve Prosesler Testi ve Modellenmesi	4	6	X	X
Elektromanyetik Aktüatörlerin Tasarımı	4	6	X	X
Ürünler ve Proseslerin Optimizasyonu	4	6	X	X
Dijital Elektronik ( $\mu$ C)	4	6	X	X
Veri ve Veritabanı Sistemlerinin Yapısı	4	6		X
Eklemeli Üretim (Hızlı Prototipleme)	4	6		X
Takım Tasarımı ve Üretim	4	6		X
Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi	4	6		X
Entegre Devre Tasarımı	4	6		X
Fiber Optik Algılama Teknolojisi	4	6	X	
İnce Film Optiği	4	6	X	
Optik İletişim Teknolojisi	4	6	X	
Opto-Elektronik Ürün Konstrüksiyonu	4	6		
Dijital Görüntü İşleme	4	6	X	

<b>Genel Zorunlu Dersler (1 tanesi zorunlu):</b>				
Teknoloji ve İnovasyon Yönetimi	4	6	X	
Bilgi Yönetimi	4	6		X
Proje Yönetimi	4	6	X	
Kalite Yönetimi ve Uygulamalı İstatistik	4	6	X	X
Girişim Firmasının Prensipleri	4	6		X
<b>Seçmeli Dersler:</b>				
Bilim ve Teknolojide İngilizce	(4)	(4)	X	X
Malzeme Bilimi için Yoğunluk Fonksiyonları Teorisi	(2)	(3)		X
Python ve Malzeme Bilimi Uygulamaları	(2)	(3)		X
<b>Toplam (2 veya 4 Yarıyılı Kapsayan)</b>	<b>48</b>	<b>100</b>		

HDS: Haftalık Ders Saati AKTS: Avrupa Kredi Transfer Sistemi GYY: Güz Yarıyılı BYY: Bahar Yarıyılı

## 6.2. Örnek Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı 2

Kesinlik mühendisliği yüksek lisans programına ikinci örnek olarak, Malezya'daki Malezya – Japonya Teknoloji Üniversitesi'nin Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı incelenmiştir [8].

**Tablo 4.** Malezya Teknoloji Üniversitesi Makine Kesinlik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı Dersleri

<b>Zorunlu Dersler:</b>	<b>HDS</b>	<b>AKTS</b>	<b>GYG</b>	<b>BYG</b>
İleri Kesinlik Mühendisliği	4	5	X	X
İleri Malzemeler Mühendisliği	4	5	X	X
İleri Uygulamalar Mekaniği	4	5	X	X
<b>Seçmeli Dersler:</b>				
İleri Otomotiv Sistemleri	4	6		X
Sonlu Elemanlar Analizi	4	6	X	X
İleri Akışkanlar Dinamiği	4	6		X
Triboloji	4	6		X
Analiz ve Uygulama için Yapısal Titreşim	4	6	X	X
Veri Şartlandırma İzleme	4	6	X	X
Motor Tuboşarj Teknikleri				
Uygulamalı Matematik				
Yüksek Lisans Tezi (6 ay veya bir yıl)				

## 6.3. Örnek Kesin Talaşlı İmalat Teknikerliği

Kesinlik teknikerliği ön lisans programına örnek olarak, A:B.D'deki Lanier Meslek Yüksek Okulu'nun Kesin Talaşlı İmalat Teknikerliği Ön Lisans Programı incelenmiştir [9].

**Tablo 5.** Lanier Meslek Yüksek Okulu Ön Lisans Programı Dersleri

<b>Genel Eğitim Dersleri: 15 Saat (Alan I + Alan II + Alan III + Alan IV + Alan V)</b>	<b>HDS</b>
<b>Alan I Dil Sanatları / İletişim - 3 Saat</b>	
Kompozisyon & Retorik	3
<b>Alan II Sosyal /Davranış Bilimleri – 3 Saat</b>	
Makroekeonomi	3
Dünya Tarihi 1	3
Psikolojiye Giriş	3
ABD Tarihi 1	3
(Benzer 8 Ders)	3



<b>Alan III Fen Bilimleri / Matematik – 3 Saat</b>	
Matematik Modelleme	3
(Benzer 2 Ders)	3
<b>Alan IV İnsan Bilimleri / Güzel Sanatlar – 3 Saat</b>	
Dünya Edebiyatı	3
Müziği Anlama	3
(Benzer 4 Ders)	3
<b>Alan V Genel Eğitim Temel Seçmeli – 3 Saat</b>	
Ekonominin Temelleri	3
Kolej Cebri	3
İnsan Gelişimi	3
(Benzer 29 Ders)	3
<b>Program Dersleri: 48 Saat</b>	
Makina Takımlarına Giriş	HDS
Torna Tezgağı İşlemleri I	4
CNC Temelleri	4
CAD/CAM Programlama	4
(Benzer 10 Ders)	4 veya 5
<b>Programla İlgili Seçmeli Dersler: 3 Saat</b>	
Bilgisayara Giriş	HDS
Pazarlama Prensipleri	3
(Benzer 10 Ders)	3 veya 4
<b>Toplam Ders Saati</b>	
	<b>66</b>

HDS: Haftalık Ders Saati

## SONUÇLAR

Kesinlik eğitim programları ile ilgili olarak yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ülkemizdeki üniversitelerde kesinlik mühendisliğine yakın disiplinler olarak; elektrik, elektronik, bilgisayar, fizik, kimya, makine, mekatronik, metalurji, metal, nükleer, tekstil, uçak, otomasyon ve kontrol mühendislik veya teknik öğretmenlik programları olduğu için kesinlik mühendisliği lisans programının açılmasının doğru olmayacağı düşünülmüştür.
- Eğer ülkemizde kesinlik eğitim programları açılırsa yetiştirilecek nitelikli personelin istihdamıyla uçak parçaları, uydu, lazer sistemleri vb. yüksek kaliteli ürünlerin geliştirilmesi, üretilmesi ve ihracatının yapılması ülke gelirini önemli oranda artıracaktır.
- Aselsan gibi kesinlik uzmanlığına sahip nitelikli personel gerektiren ve yüksek kaliteli ürünler geliştirip üreten firmalardan yüksek nitelikli personelin beyin göçüyle yurtdışına gitmesi kabul edilip doğal karşılanamaz. Bu alanda muhakkak ayrı bir çalışma yapılmalı ve teknik insanlarımızı yurt dışına kaçıran nedenler ortadan kaldırılmalıdır.
- Ülkemiz için kesinlik mühendisliği lisansüstü ve kesinlik teknikerliği ön lisans programları oluşturulurken öncelikli alanlarımız belirlenmeli (örn. biyomedikal cihaz üretimi, 3D yazıcı üretimi, uçak parçaları geliştirilmesi vb.) ve bu alanlara uygun müfredatlar geliştirilmelidir.
- Kesinlik teknolojisi mikro ve nano boyutta da çalışmalar gerektirdiğinden eğitim programları geliştirilirken ülkemizdeki çalışmada sıralanan uzman kurumların çalışanlarının yanında Teknoloji Enstitüleri ve bazı Üniversitelerde yer alan nanoteknoloji merkezlerindeki uzman personelin görüşleri de muhakkak alınmalıdır.
- Kesinlik mühendisliği lisansüstü ve kesinlik teknikerliği ön lisans programlarında eğitim alacak öğrencilere TÜBİTAK ve özel kuruluşlar burs desteği sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] VENKATESH, V. C., IZMAN, S., "Precision Engineering", Tata McGraw Hill Publishing, 2007.
- [2] SETH, G. G., JEROME F. H., SHEMBELLE, G. M., "Introduction to Precision Engineering" Lecture Notes, <https://www.slideshare.net/shemsss/introduction-to-precision-engineering-127756570>, Erişim tarihi: 14 Mayıs 2019.
- [3] Introduction to Precision Engineering Lecture Notes, [blog.ncut.edu.tw/userfile/3120/01\\_Introduction.pdf](http://blog.ncut.edu.tw/userfile/3120/01_Introduction.pdf), Erişim tarihi: 18 Mayıs 2019.
- [4] <https://www.ssg.gov.sg/wsqr/Industry-and-Occupational-Skills/Precision-Engineering-WSQ.html>, Erişim tarihi: 19 Mayıs 2019.
- [5] <https://www.th-nuernberg.eu/home/faculties/electrical-engineering-precision-engineering-information-technology/page.html>, Erişim tarihi: 21 Mayıs 2019.
- [6] TUNÇALP, B. K., KAPLANOĞLU, E., SUCU, M., "Metroloji Mühendisliğinin Kurulmasına Yönelik Üniversite – UME İşbirliği ve Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde Ölçme Programları", TMMOB MMO IV Ulusal Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, 25-26 Ekim 2001.
- [7] <https://www.hs-furtwangen.de/en/programmes/advanced-precision-engineering-master/details-of-programme/>, Erişim tarihi: 15 Haziran 2019.
- [8] <http://mjitt.utm.my/master-of-mechanical-precision-engineering/>, Erişim tarihi: 17 Haziran 2019.
- [9] <https://www.laniertech.edu/AcademicPrograms/LTCPrograms.aspx?id=21>, Erişim tarihi: 26 Haziran 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Burhanettin Koray TUNÇALP

1962 yılı İstanbul doğumludur. 1984'te Marmara Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünü, 2014'te Gabrovo Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği ve Elektronik Fakültesi Güç Mühendisliği ve Elektrik Sistemleri Bölümünü bitirmiştir. Marmara Üniversitesinde Yüksek Lisansını 1988 yılında tamamlamış ve aynı üniversiteden 1999'da Doktor ünvanını almıştır. 1985-1993 yılları arasında Araştırma Görevlisi, 1993-1999 arası Öğretim Görevlisi, 1999-2001 arası Yardımcı Doçent, 2001-2008 arası Doçent, 2008-2014 arası Elektrik ve Mekatronik Eğitimi Bölümlerinde çalışmış ve 2013-2014 arasında da M.Ü Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde çalışarak emekli olmuştur. 2015'ten itibaren Haliç Üniv. Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümünde çalışmakta olup iki yıldır Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü görevini sürdürmektedir. Mekatronik sistemler, enstrümantasyon, elektriksel enerji ölçümü, mesleki ve teknik eğitim konularında çalışmaları vardır.

### Samet Burçin AYDOĞMUŞ

1984 yılı İstanbul doğumludur. 2007'de Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliğini bitirmiştir. Aynı Üniversitede 2009'da Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi alanında Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2010 yılından bu yana Takım Tezgahları Sanayici ve İş İnsanları Derneği'nde (TİAD) Genel Sekreter Yardımcısı ve TİAD Mesleki Test Merkezi'nde Belgelendirme Müdürü görevlerini yürütmektedir. CNC takım tezgahlarının, robotik sistemlerin ve tamamlayıcı ekipmanlarının kullanımı, bakımı, kalibrasyonu alanlarında eğitim ve yeterlilik belirleme alanlarında ve sektörel analizler alanında çalışmaktadır.