



DERS BİLGİ FORMU

FAKÜLTE / ENSTİTÜ ADI	Fen Edebiyat Fakültesi
BÖLÜM / PROGRAM / ANABİLİM DALI ADI	Matematik
DERSİN ADI	Optimizasyon Teknikleri
DERSİN KODU	MAT4280
YEREL KREDİSİ	3
AKTS KREDİSİ	5
HAFTALIK DERS SAATİ	3
HAFTALIK UYGULAMA SAATİ	0
HAFTALIK LABORATUVAR SAATİ	0
ÖNKOŞULLAR	Yok
YARIYIL	Güz, Bahar
DERSİN DİLİ	İngilizce, Türkçe
DERSİN SEVİYESİ	Lisans
DERSİN TÜRÜ	Seçmeli @ Matematik Lisans Programı Seçmeli @ Fizik Lisans Programı (%30 İngilizce)
DERSİN KATEGORİSİ	Temel Meslek Dersleri
DERSİN VERİLİŞ ŞEKLİ	Yüz Yüze
DERSİ SUNAN AKADEMİK BİRİM	Matematik Bölümü
DERSİN KOORDİNATÖRÜ	Sema AKIN BAŞ
ASİSTAN(LAR)	
DERSİN AMACI	Bu dersin amacı, öğrencilere matematiksel optimizasyon, özellikle de doğrusal olmayan fonksiyonlar hakkında temel bilgileri kazanmaktır. Ders aynı zamanda, öğrencilerin optimal karar vermeyi sağlayan matematik modellerini kurarak gerçek hayatta karşılaşılan uygulama alanlarının tanınması ve çözüm yöntemlerinin bu alanlara uygulanması becerilerini kazandırmayı amaçlamaktadır.
DERSİN İÇERİĞİ	Giriş ve temel kavramlar; kısıtsız optimizasyon; kısıtsız optimizasyonda analitik çözüm; sayısal yöntemler ve algoritmalar; kısıtlı optimizasyon; eşitlik kısıtları altında optimizasyon, eşitlik ve eşitsizlik kısıtları altında optimizasyon, özel kısıtlar altında optimizasyon.
DERS KİTABI / MALZEMESİ / ÖNERİLEN KAYNAKLAR	Ders Kitabı: [1] Bhatti, M. Asghar. <i>Practical Optimization Methods: With Mathematica Applications</i> . Springer Science & Business Media, 2000. [2] Chong, Edwin K. P., Zak, Stanislav H. <i>An Introduction to Optimization</i> . John Wiley & Sons., 2013. [3] Fletcher, Roger. <i>Practical Methods of Optimization</i> . 2. baskı, John-Wiley and Sons Ltd., Chichester, New York, 1987. Önerilen Kaynaklar: Carmichael, David G. <i>Structural Modelling And Optimization: A General Methodology For Engineering And Control</i> . 1981.



	Wismer, David A., Chattergy, Rahul. <i>Introduction to nonlinear optimization: a problem solving approach</i> . New York: North-Holland, 1978.	
Ders Öğrenim Çıktıları	Bu dersi başarıyla tamamlayan öğrenciler,	
	1. Gerçek hayat problemlerinde optimal karar vermek için model kurabileceklerdir.	
	2. Matematiksel optimizasyon hakkında temel bilgilere hâkim olabileceklerdir.	
	3. İteratif yöntemleri kullanabileceklerdir.	
	4. Matematiksel modelleri çözebileceklerdir.	
	5. Öğrendikleri modelleri ve yöntemleri uygulayabileceklerdir.	
DEĞERLENDİRME SİSTEMİ		
Etkinlikler	Sayı	Katkı Payı
Devam/Katılım		
Laboratuvar		
Uygulama		
Arazi Çalışması		
Derse Özgü Staj		
Kısa Sınavlar/Stüdyo Kritiği		
Ödev: - İçerik: Derste işlenen temel kavramların eleştirel biçimde yorumlanmasını ve ilgili kavramların disiplin-içi ve disiplinler arası alanlarda örneklerinin bulunmasını içeren ödevlerin verilmesi - Format: Yazılı raporlar ve grup sunumları - Detaylı Değerlendirme Kriterleri: - Bir problemin çözüm sürecini mantıklı ve doğru bir şekilde yazabilme - Kavramların uygulamadaki örneklerini bulabilme - Uygulamalı düşünebilme, yorumlama ve gerekçelendirme süreçlerinin yürütülebilmesi	4	%20
Sunum/Jüri		
Proje		
Seminer/Workshop		
Ara Sınavlar: - İçerik: Sınav haftasına kadar işlenen konuların tümünü kapsayan kapsamlı sorular - Format: Yüz yüze. Sınav (70-90 dakika) - Detaylı Değerlendirme Kriterleri: - Dersin temel kavramlarının anlaşıldığının gösterilmesi - Teorik konularla ilgili problemlerin çözülebilmesi - Teorik düşünme süreçlerinin yürütülmesi	1	%40
Final: İçerik: Dersin tüm içeriğini kapsayan kapsamlı sorular	1	%40



- **Format:** Yüz yüze. Sınav (70-90 dakika)
- **Detaylı Değerlendirme Kriterleri:**
 - Derste işlenen tüm konuların derinlemesine kavranmış olduğunun gösterilmesi
 - İleri düzey problem çözme becerilerinin kullanılabilmesi

Dönem İçi Çalışmaların Başarı Notuna Katkısı

%60

Final Sınavının Başarı Notuna Katkısı

%40

TOPLAM

%100

HAFTALIK KONULAR VE İLGİLİ ÖN HAZIRLIK ÇALIŞMALARI

HAFTALAR	KONULAR	Ön Hazırlık
1	Konu Anlatımı: Giriş, temel kavramlar Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Optimizasyon, vektör uzayı, lineer bağımsızlık gibi temel kavramların tanımlarına ilişkin basit örneklemeye yaptırılması Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Optimizasyon hangi alanlarda hayatımızı kolaylaştırır?” sorusu üzerine tartışılması	1. Optimizasyonun tarihçesi konularını içeren bölümlerin okunması. Matematiksel arka planın hatırlanması. Kaynaklar: Ders kitabı 2, 5-19. Ders Kitabı, 3-11.
2	Konu Anlatımı: Gradient, Hessian matris, bir matrisin definitliği Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Örnek bir fonksiyonun gradient ve Hessian’ının hesaplanması, definitliğinin kontrolünün yapılması	1. Gradient hesaplama, Hessian matris hesaplama, matrisin definitliği konularını içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 60-64. Ders Kitabı 3, 6-11. Ders Kitabı 2, 26-37.
3	Konu Anlatımı: Fonksiyonların konveksliği Sınıf-içi Uygulama (15 dk.): Farklı fonksiyonların konveks olup olmadığının incelenmesi Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Konveks fonksiyonların optimizasyondaki avantajı nedir?” sorusu üzerine bir tartışma yapılması	1. Konveks fonksiyonları içeren bölümün okunması. Kaynak: Ders Kitabı 1, 126-143.
4	Konu Anlatımı: Kısıtsız optimizasyon: yerel ve global minimum, ilerlenebilir yönler kümesi, yerel minimum için gerek ve yeter şartlar Sınıf-içi Uygulama (15 dk.): Basit çok değişkenli bir fonksiyon üzerinde minimum noktaların bulunması	1. Fonksiyonlarda yerel ve global minimum, ilerlenebilir yönler kümesi, yerel minimum için gerek ve yeter şartlar konularını içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 74-90. Ders Kitabı 3, 12-16.
5	Konu Anlatımı: Kısıtsız optimizasyonda pratik problemler Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Küçük ölçekli mühendislik problemi için optimizasyon modelinin kurulması Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Hangi problemler kısıtsız optimizasyonla çözülebilir?” sorusu üzerine bir tartışma yapılması	1. Kısıtsız optimizasyonda problem türleri bölümünün okunması. Kaynak: Ders Kitabı 1, Bölüm 4, 146-157.
6	Konu Anlatımı: Kısıtsız optimizasyonda sayısal yöntemler Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Bir fonksiyonun minimumunun sayısal olarak yaklaşık bulunması Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Sayısal yöntemlerin analitik çözümlere göre avantajları nelerdir?” sorusu üzerine bir tartışma yapılması	1. Newton methodu; gradyan yönü ilerleme ve analitik çözüm konularının okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 103-106. Ders Kitabı 1, 243-250.
7	Konu Anlatımı: Gradient yöntemleri: en hızlı düşüş yöntemi Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Basit bir fonksiyon üzerinde iteratif gradient descent uygulamasının yapılması	1. En hızlı düşüş yöntemini içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 1, 268-275. Ders Kitabı 2, 115-122.



	Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Adım boyunun seçiminde hangi zorluklarla karşılaşılır?” sorusu üzerine bir tartışma yapılması	
8	Ara Sınav 1	Sınav haftasına kadar işlenen konuların tümünün tekrar edilmesi
9	Konu Anlatımı: Bir kuadratik fonksiyon için en hızlı düşüş yöntemi, Çok değişkenli fonksiyonlar için Newton yöntemi Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Newton yönteminin küçük bir fonksiyon üzerinde uygulanması	1. Kuadratik fonksiyonlar için Newton yöntemini içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 1, 286-301. Ders Kitabı 2, 139-145.
10	Konu Anlatımı: Eşlenik yön yöntemleri: eşlenik yön algoritması Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Küçük bir kuadratik problemde eşlenik yön algoritması adımlarının uygulanması	1. Eşlenik yön yöntemlerini içeren bölümlerin okunması. Kaynak: Ders Kitabı 2, 158-161.
11	Konu Anlatımı: Kuadratik olmayan fonksiyonlar için eşlenik yön algoritması, Fletcher Reeves yöntemi Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Belirli bir fonksiyon için Fletcher-Reeves iterasyonlarının yürütülmesi	1. Kuadratik olmayan fonksiyonlar için eşlenik yön algoritması: Fletcher Reeves konularını içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 180-184. Ders Kitabı 3, 80-87.
12	Konu Anlatımı: Kuadratik olmayan fonksiyonlar için eşlenik yön algoritması, Polak-Ribiere ve Hestenes-Stiefel yöntemleri Sınıf-içi Uygulama (5 dk.): Aynı problem üzerinde farklı eşlenik yön yöntemlerinin karşılaştırılması Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Farklı algoritmaların aynı problem üzerindeki performansı nasıl değişir?” sorusu üzerine tartışılması	1. Kuadratik olmayan fonksiyonlar için eşlenik yön algoritması: Polak-Ribiere ve Hestenes-Stiefel konularını içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 180-184. Ders Kitabı 3, 80-87.
13	Konu Anlatımı: Kısıtlı optimizasyon: eşitlik kısıtları altında optimizasyon Sınıf-içi Uygulama: (10 dk.) Lagrange çarpanı kullanarak basit eşitlik kısıtlı problemin çözülmesi	1. Eşitlik kısıtları altında optimizasyon problemleri, Lagrange çarpanları konularını içeren bölümlerin okunması. Kaynaklar: Ders Kitabı 2, 365-368; 374-387. Ders Kitabı 3, 195-212.
14	Konu Anlatımı: Eşitlik ve eşitsizlik kısıtları altında optimizasyon, Karush-Kuhn-Tucker (KKT) çarpanları Sınıf-içi Uygulama: (10 dk.) Basit bir problemde KKT koşullarının adım adım uygulanması	1. Karush-Kuhn-Tucker çarpanlarını içeren bölümün okunması. Kaynak: Ders Kitabı 2, 397-406.
15	Konu Anlatımı: Nonnegatiflik kısıtları altında kısıtlı ve kısıtsız optimizasyon Sınıf-içi Uygulama (10 dk.): Nonnegatiflik kısıtlı küçük bir optimizasyon probleminin çözülmesi. Sınıf-içi Tartışma (5 dk.): “Gerçek hayatta nonnegatiflik kısıtları nerelerde karşımıza çıkar?” sorusu üzerine tartışılması	1. Nonnegatiflik kısıtları altında optimizasyonu içeren bölümün okunması. Kaynak: Ders Kitabı 2, 417-437.
16	Final	İşlenen konuların tümünün tekrar edilmesi

AKTS İŞYÜKÜ TABLOSU

Etkinlikler	Sayı	Süresi (Saat)	Toplam İşyükü
Ders Saati	14	3	42
Laboratuar			
Uygulama			
Arazi Çalışması			
Sınıf Dışı Ders Çalışması	14	3	42



Derse Özgü Staj			
Ödev	4	5	20
Küçük Sınavlar/Stüdyo Kritiği			
Projeler			
Sunum / Seminer			
Ara Sınavlar (Sınav Süresi + Sınav Hazırlık Süresi)	1	15	15
Final (Sınav Süresi + Sınav Hazırlık Süresi)	1	20	20
Toplam İş yükü:			139
Toplam İş yükü / 30(s):			4.63
AKTS Kredisi:			5



COURSE INFORMATION FORM

FACULTY / GRADUATE SCHOOL	Faculty of Arts and Sciences
DEPARTMENT / PROGRAMME	Mathematics
TITLE OF COURSE	Optimization Techniques
CODE	MAT4280
LOCAL CREDIT	3
ECTS	5
LECTURE HOUR / WEEK	3
PRACTICAL HOUR / WEEK	0
LABORATORY HOUR / WEEK	0
PREREQUISITE	None
SEMESTER	Fall, Spring
COURSE LANGUAGE	English, Turkish
LEVEL OF COURSE	First Cycle
COURSE TYPE	Elective @ Bachelor Programme in Mathematics Elective @ Bachelor Programme in Physics (%30 English)
COURSE CATEGORY	Core Courses
MODE OF DELIVERY	Face-to-Face
OWNER ACADEMIC UNIT	Department of Mathematics
COURSE COORDINATOR	Sema AKIN BAŞ
ASSISTANT(S)	
COURSE OBJECTIVES	This course aims to help students provide basic knowledge about mathematical optimization, particularly non-linear functions. The course also aims to enable students to recognize real-world application areas and apply solution methods to these areas by constructing mathematical models that facilitate optimal decision-making.
COURSE CONTENT	Introduction and basic concepts; unconstrained optimization; analytical solutions in unconstrained optimization; numerical methods and algorithms; constrained optimization: optimization under equality constraints, optimization under equality and inequality constraints, optimization under special constraints.
RECOMMENDED OR REQUIRED READINGS	Coursebook: [1] Bhatti, M. Asghar. <i>Practical Optimization Methods: With Mathematica Applications</i> . Springer Science & Business Media, 2000. [2] Chong, Edwin K. P., Zak, Stanislav H. <i>An Introduction to Optimization</i> . John Wiley & Sons., 2013. [3] Fletcher, Roger. <i>Practical Methods of Optimization</i> . 2nd ed., John-Wiley and Sons Ltd., Chichester, New York, 1987. Recommended Readings: Carmichael, David G. <i>Structural Modelling And Optimization: A General Methodology For Engineering And Control</i> . 1981.



Wismar, David A., Chattergy, Rahul. *Introduction to nonlinear optimization: a problem solving approach*. New York: North-Holland, 1978.

Course Learning Outcomes

Upon successful completion of the course, students will be able to

1. Model to make optimal decisions in real-life problems.
2. Possess a comprehensive understanding of the principles of mathematical optimization.
3. Use iterative methods.
4. Solve mathematical models.
5. Apply the models and methods they have learned.

EVALUATION SYSTEM

Activities	Number	Percentage of Grade
Attendance/Participation		
Laboratory		
Application		
Field Work		
Special Course Internship (Work Placement)		
Quizzes/Studio Critics		
Homework Assignments: • Content: Assignments requiring critical analysis of fundamental concepts covered in class and identification of examples of these concepts within both intra-disciplinary and interdisciplinary contexts • Format: Written reports and group presentations • Detailed Assessment Criteria: -Ability to logically and accurately demonstrate the problem-solving process -Ability to find practical examples of the concepts - Ability to carry out processes of applied thinking, interpretation, and justification	4	%20
Presentations/Jury		
Project		
Seminar/Workshop		
Midterms: • Content: Comprehensive questions covering all topics addressed up to the exam week • Format: Face-to-face written exam. (70-90 minutes). • Detailed Assessment Criteria: -Demonstration of understanding of the fundamental concepts of the course -Ability to solve problems related to theoretical topics -Ability to carry out theoretical reasoning processes	1	%40
Final:	1	%40



Content: Comprehensive questions covering the entire content of the course Format: Face-to-face written exam. (70-90 minutes). Detailed Assessment Criteria: -Ability to apply advanced problem-solving skills -Demonstration of a thorough understanding of all topics covered in the course		
Percentage of In-Term Studies		%60
Percentage of Final Examination		%40
TOTAL		%100

WEEKLY SUBJECTS AND RELATED PREPARATION STUDIES

WEEKS	COURSE OUTLINE	Related Preparation
1	Lecture: Introduction, basic concept Practice (10 minutes): Simple examples related to the definitions of basic concepts such as optimization, vector space, and linear independence In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on in “which areas does optimization make our lives easier?”	1. Reading the sections covering the history of optimization. Reviewing the mathematical background. Sources: Coursebook 2, 5-19. Coursebook 3, 3-11.
2	Lecture: Gradient, Hessian matrix, definiteness of a matrix Practice (10 minutes): Calculating the gradient and Hessian of a sample function, checking its definiteness	1. Reading the sections covering gradient calculation, Hessian matrix calculation, and matrix definiteness. Sources: Coursebook 2, 60-64. Coursebook 3, 6-11. Coursebook 2, 26-37.
3	Lecture: Convexity of functions Practice (15 minutes): Examining whether different functions are convex In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on “what is the advantage of convex functions in optimization?”	1. Reading the section on convex functions. Source: Coursebook 1, 126-143.
4	Lecture: Unconstrained optimization: local and global minimizer, feasible direction, necessary and sufficient conditions for a local minimizer Practice (15 minutes): Finding minimum points on a simple multivariate function	1. Reading the sections on local and global minima in functions, the set of feasible directions, and necessary and sufficient conditions for local minima. Sources: Coursebook 2, 74-90. Coursebook 3, 12-16.
5	Lecture: Practical problems in unconstrained optimization Practice (10 minutes): Setting up an optimization model for a small-scale engineering problem In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on “which problems can be solved using unconstrained optimization?”	1. Reading the section on problem types in unconstrained optimization. Source: Coursebook 1, 146-157.
6	Lecture: Iterative methods in unconstrained optimization Practice (10 minutes): Numerically approximating the minimum of a function In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on what are the advantages of numerical methods over analytical	1. Reading about the Newton method; gradient direction advancement and analytical solutions. Sources: Coursebook 1, 243-250. Coursebook 2, 103-106.



	solutions?	
7	Lecture: Gradient methods: the method of steepest descent Practice (10 minutes): Applying iterative gradient descent on a simple function In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on “what difficulties are encountered in selecting the step size?”	1. Reading the sections on the fastest descent method. Sources: Coursebook 1, 268-275. Coursebook 2, Chapter 8, 115-122.
8	Midterm 1	Review of all topics covered up to the exam week.
9	Lecture: The method of steepest descent for a quadratic function, The Newton's method for a multivariable function Practice (10 minutes): Applying Newton's method to a small function	1. Reading the sections on the Newton method for quadratic functions. Sources: Coursebook 1, 286-301 Coursebook 2, 139-145.
10	Lecture: The conjugate direction methods: Conjugate direction algorithm Quick Practice (5 minutes): Applying the conjugate gradient algorithm steps to a small quadratic problem	1. Reading the sections on conjugate direction methods. Source: Coursebook 2, 158-161.
11	Lecture: Conjugate gradient algorithm for non-quadratic problems, Fletcher Reeves method Practice (10 minutes): Executing Fletcher-Reeves iterations for a specific function	1. Reading the sections on the conjugate direction algorithm for non-quadratic functions: Fletcher Reeves topics. Sources: Coursebook 2, 180-184. Coursebook 3, 80-87.
12	Lecture: Conjugate gradient algorithm for non-quadratic problems, Polak-Ribiere and Hestenes-Stiefel methods Quick Practice (5 minutes): Comparing different conjugate gradient methods on the same problem In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on the question, "How does the performance of different algorithms on the same problem vary?"	1. Reading the sections covering conjugate gradient algorithm for non-quadratic functions: Polak-Ribiere and Hestenes-Stiefel topics. Source: Coursebook 2, 180-184; Coursebook 3, 80-87.
13	Lecture: Constrained optimization: optimization with equality constraints Practice (10 minutes): Solving simple equality-constrained problems using Lagrange multipliers	1. Reading sections covering optimization problems under equality constraints and Lagrange multipliers. Sources: Coursebook 2, 365-368; 374-387. Coursebook 3, 195-212.
14	Lecture: Optimization with equality and inequality constraints, Karush-Kuhn-Tucker (KKT) multipliers Practice (10 minutes): Step-by-step application of KKT conditions to a simple problem	1. Reading the section on Karush-Kuhn-Tucker multipliers. Source: Coursebook 2, 397-406.
15	Lecture: Constrained and unconstrained optimization under nonnegativity constraints In-Class Activity (10 minutes): Solving a small optimization problem with nonnegativity constraints In-Class Discussion (5 minutes): Discussion on the question, "Where do we encounter non-negativity constraints in real life?"	1. Reading the section on optimization under nonnegativity constraints. Source: Coursebook 2, 417-437.
16	Final	Review of all topics covered.

**ECTS WORKLOAD TABLE**

Activities	Number	Duration (Hour)	Total Workload
Course Hours	14	3	42
Laboratory			
Application			
Field Work			
Study Hours Out of Class	14	3	42
Special Course Internship (Work Placement)			
Homework Assignments	4	5	20
Quizzes/Studio Critics			
Project			
Presentations / Seminar			
Mid-Terms (Examination Duration + Examination Prep. Duration)	1	15	15
Final (Examination Duration + Examination Prep. Duration)	1	20	20
Total Workload:			139
Total Workload / 30(h):			4.63
ECTS Credit:			5



Ders Öğrenim Çıktısı & Program Çıktısı Matrisi

	DÖC-1	DÖC-2	DÖC-3	DÖC-4	DÖC-5
PC-1 Geometri, analiz, lineer cebir, soyut matematik, cebir ve diferansiyel denklemler gibi matematiğin temel alanlarındaki tanımları ve teoremleri ifade edebilecek, bunlar arasında ilişki kurabilecek ve teoremlerin uygulamalarını açıklayabileceklerdir. / State the definitions and theorems in fundamental areas of mathematics such as geometry, analysis, linear algebra, abstract mathematics, and differential equations, establish connections between them and explain their applications.	=	<u>3</u>	=	=	=
PC-2 Matematik alanındaki teorik ve uygulamalı bilgilerini ve matematiksel düşünme becerilerini kullanarak standart ve karmaşık matematiksel problemleri tanımlayabilecek ve analitik ve/veya sayısal yöntemlerle çözebilecek ve matematiksel bir önermenin geçerliliğini farklı ispat yöntemleri ile ispatlayabileceklerdir. / Identify standard and complex mathematical problems, solve these problems with analytical and/or numerical methods and prove the validity of a mathematical proposition through various proof techniques using their theoretical and applied knowledge of mathematics and mathematical thinking skills.	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-3 Matematik alanındaki teorik ve uygulamalı bilgilerini ve matematiksel düşünme becerilerini kullanarak gerçek hayattaki problemlerin matematiksel modellerini geliştirebilecek ve bu modelleri kullanarak problemlere geçerli çözümler üretebileceklerdir. / Develop mathematical models for real-life problems and generate valid solutions based on these models using their theoretical and applied knowledge of mathematics and mathematical thinking skills.	<u>5</u>	=	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-4 Disiplinlerarası bir	<u>5</u>	=	=	=	<u>3</u>



yaklaşım, farklı alanlarda edinmiş oldukları bilgileri sentezleyebileceklerdir. / Synthesise knowledge acquired from different disciplines through an interdisciplinary approach.					
PC-5 Matematik alanında edindikleri bilgi birikimlerini ve matematiksel düşünme becerilerini, teorik matematik, yazılım, finans ve yönetim matematiği, biyomatematik, veri bilimi ve finansal istatistik yöntemleri gibi disiplin-içi ve disiplinlerarası uzmanlık alanlarında geliştirebileceklerdir. / Advance their acquired knowledge in mathematics and mathematical thinking skills in both disciplinary and interdisciplinary areas of specialisation such as pure mathematics, software, financial and managerial mathematics, biomathematics, data science, and financial statistical methods.	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
PC-6 Matematik alanında yaygın olarak kullanılan en az bir programlama dili ile bilgisayar ve yapay zekâ teknolojilerini, problemleri çözmek, veri analizi yapmak ve simülasyonlar gerçekleştirmek için kullanabileceklerdir. / Use at least one programming language and computer and artificial intelligence technologies widely employed in mathematics for problem-solving, data analysis, and simulations.	=	=	=	=	=
PC-7 Matematik ve ilgili alanlardaki bilimsel ve teknolojik gelişmeleri izleyebilecek, kariyer fırsatlarını değerlendirerek kişisel ve mesleki gelişim hedeflerini belirleyebilecek ve bu hedeflere ulaşmak için hayat boyu öğrenme stratejilerini kullanabileceklerdir. / Follow scientific and technological developments in mathematics and related fields, assess career opportunities, identify personal and professional development goals, and adopt lifelong learning strategies to achieve these goals.	=	=	=	=	=
PC-8 Bilimsel	=	=	=	=	=



araştırmalarını ve mesleki faaliyetlerini yürütürken doğabilecek hukuksal sonuçları ve toplumsal etkileri dikkate alarak mesleki etik ilkeler, kalite standartları ile evrensel değerler doğrultusunda ve sosyal sorumluluk bilinci ve adalet duygusuyla hareket edebileceklerdir. / Act with a sense of social responsibility and justice and in accordance with professional ethical principles, quality standards, and universal values by taking into account potential legal and societal consequences of their scientific research and professional activities.					
PC-9 Bireysel olarak ya da takımlarda etkin biçimde çalışabileceklerdir. / Work effectively both independently and as part of a team.	<u>4</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>4</u>	<u>4</u>
PC-10 Matematik alanında güvenilir bilgi kaynaklarına ulaşarak literatür taraması yapabilecek ve akademik araştırma tasarlayıp yürütebileceklerdir. / Access reliable sources of information, conduct literature reviews, and design and carry out academic research in the field of mathematics.	<u>2</u>	=	=	=	=
PC-11 Matematiksel konuları, teorileri, ispatları, araştırmaları ve problem çözümlerini, matematik terminolojisi kullanarak tüm paydaşlara Türkçe ve İngilizcede sözlü ve yazılı olarak etkili biçimde aktarabileceklerdir. / Effectively communicate mathematical topics, theories, proofs, research, and problem solutions to all relevant stakeholders using appropriate mathematical terminology, both orally and in writing, in Turkish and in English.	=	=	=	=	=