

THEORETICAL AND APPLIED PERSPECTIVES IN ENGINEERING

MÜHENDİSLİKTE TEORİK VE UYGULAMALI PERSPEKTİFLER

Editör: Doç. Dr. M. Sait CENGİZ



**THEORETICAL AND APPLIED
PERSPECTIVES IN ENGINEERING**

**MÜHENDİSLİKTE TEORİK VE
UYGULAMALI PERSPEKTİFLER**

Editör

Doç. Dr. M. Sait CENGİZ



*Theoretical and Applied Perspectives in Engineering,
Mühendislikte Teorik ve Uygulamalı Perspektifler
Editör: Doç. Dr. M. Sait CENGİZ*

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek
Kapak ve Sayfa Tasarımı: Duvar Design
Baskı: Mart 2025
Yayıncı Sertifika No: 49837
ISBN: 978-625-5551-84-9

© Duvar Yayınları
853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir
Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com
duvarkitabevi@gmail.com

**Yayınevi ve editörler, yazarların belirtmiş olduğu görüş ve düşünceler ile doğabilecek etik ihlallerinin sorumluluğunu kabul etmekle yükümlü olmayıp kitapta yer alan yazıların sorumluluğu yazar(lar)ına aittir.*

İÇİNDEKİLER

Bölüm 11

Metallerde Mukavemet Artırıcı Sistemler

Caner BULUT, Mustafa ÖCAL

Bölüm 226

Piezoelektrik Nanogeneratörlerin Kullanım Alanları, Avantajları ve Geleceği

Burak TAŞ, Cem GÖK, Özge TÜZÜN ÖZMEN

Bölüm 3.....39

Akıllı Ev Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları

Mete ÖZBALTAN

Bölüm 453

Proje Yönetimi: Temel İlkeler ve Uygulama Stratejilerine Yeni Bakış

Abdulla SAKALLI, Musa AYTEMİR

Bölüm 580

Kartografik Genelleştirmede Çizgi Basitleştirme Algoritmaları ve Uygulamaları

Sevgi BÖGE, İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ

Chapter 6102

Automated Style Transfer for Academic Writing:

A Turkish-to-English Translation Pipeline with SciBERT

İlhami SEL

Chapter 7.....121

Word Tokenization in Turkish Texts:A Comprehensive Comparison of

Byte Pair Encoding, Unigram, And Wordpiece Methods

İlhami SEL

Bölüm 1

Metallerde Mukavemet Artırıcı Sistemler

Caner BULUT¹, Mustafa ÖCAL²

1. Giriş

Metal malzemelerin mekanik özellikleri, mühendislik uygulamalarında yapıların güvenilirliğini ve performansını belirleyen temel unsurlardan biridir. Mukavemet, bir metalin dış etkilere karşı gösterdiği dirençtir ve mühendislikte yapıların güvenilirliği ile performansı açısından önemli bir faktördür; temelde plastik deformasyona karşı koyma yeteneğine dayanmaktadır. Bir metalin mukavemeti sertlik, süneklik, kimyasal bileşim, kristal yapı ve maruz kaldığı mekanik ya da ısı işlemleriyle belirlenebilmektedir. Metal malzemelerin mukavemetini artırma çabası endüstriyel güvenlik ve dayanıklılığı iyileştirmenin yanı sıra daha verimli ve ekonomik mühendislik çözümleri de sunmaktadır. Bu bağlamda metallerin mukavemetini artırmak mühendislik alanında sıklıkla karşılaşılan ve önem arz eden bir konu olmuştur.

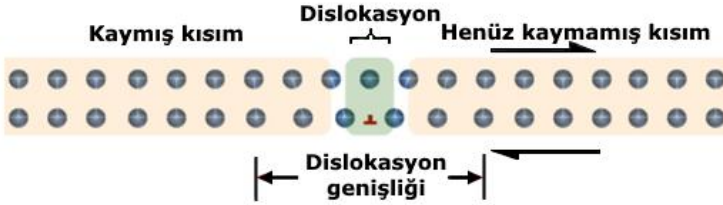
Malzemelerin mekanik özellikleri doğrudan içyapılarıyla ilişkilidir [1] ve bu süreçte malzemenin kristal yapısı ve dislokasyon hareketleri büyük rol oynamaktadır. Metalin özelliklerini şekillendiren bu yapısal unsurlar uygulanan iyileştirici müdahaleler ile istenilen mekanik özelliklerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Metallerde plastik deformasyon kristal yapı içindeki dislokasyon hareketleri ile gerçekleşir ve dislokasyon hareketlerinin sınırlandırılması metalin sertlik ve süneklik gibi özelliklerini doğrudan etkilemektedir [2,3]. Yüksek mukavemet mühendislik uygulamalarında güvenilir ve uzun ömürlü tasarımlar sağlar, bu yüzden metallerin mukavemetini artırmak için çeşitli mikro ve makro teknikler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemleri doğru anlayabilmek için dislokasyonların yapısını ve hareket mekanizmalarını incelemek önemlidir.

2. Dislokasyon Mekanizmaları

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, TBMYO, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0001-5421-300X.

² Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, TBMYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, ORCID: 0000-0002-6731-8561

Metallerin mekanik özellikleri içyapılarında gerçekleşen değişimlerle şekillenir ve özellikle plastik deformasyon sürecinde kritik bir rol oynayan dislokasyon hareketleri ile doğrudan ilişkilidir. Dislokasyonlar kristal yapıda belirli bir düzlemin beklenmedik bir noktada sonlanmasıyla ortaya çıkan çizgisel kusurlar olarak tanımlanır ve her ne kadar çizgisel bir hata olarak değerlendirilse de aslında atomik düzeyde bir kristal kusurunu ifade etmektedir [4]. Dislokasyonlar kristal yapı içinde hareket ederek plastik deformasyon sürecini yönlendiren temel yapısal unsurlarıdır [2] ve kısaca kaymış ile kaymamış kristal bölgeler arasındaki sınır hattı olarak düşünülebilir. Bu nedenle mukavemet artırıcı teknikler genellikle dislokasyon hareketlerini sınırlandırmaya odaklanmaktadır. Dolayısıyla dislokasyon hareketinin engellenmesi malzemenin sertleşmesine neden olurken serbest hareket eden dislokasyonlar daha kolay şekil değişimini sağlamaktadır [5,6].



Şekil 2.1. Dislokasyon hattının şematik bir gösterimi [4]

Plastik deformasyon sırasında dislokasyonlar kristal kafes içinde belirli hatlar boyunca ilerler. Teorik hesaplamalar saf kristallerin çok daha düşük gerilimlerde kayma göstermesi gerektiğini öngörse de pratikte malzemeler çok daha yüksek mukavemet sergilemektedirler. Bunun temel nedeni dislokasyon hareketlerinin taneler, çökeltiler ve diğer kusurlar tarafından sınırlandırılmasıdır [7]. Kristallerde dislokasyonlar üç ana gruba ayrılır: kenar dislokasyonu, vida dislokasyonu ve karışık dislokasyon. Kenar dislokasyonu, kristal yapı içine hayali bir yarım atom düzleminin eklenmesiyle oluşurken, vida dislokasyonu kayma düzlemleri boyunca ilerleyen helisel bir deformasyon hareketine sahiptirler [2]. Karışık dislokasyon ise yapıda bu iki dislokasyon türünü barındırmaktadır.

2.1. Dislokasyon Hareketine Engel Olabilecek Faktörler

Kristal yapılar içerisindeki dislokasyonların hareketi birçok farklı mekanizma tarafından engellenebilir. Dislokasyon hareketine karşı koyan başlıca bu mekanizmalar şunlardır [3,6],

- Peierls-Nabarro sürtünme gerilmeleri,
- Tane ve alt tane sınırlarının engellemesi,

- Dislokasyon yoğunluğunun artmasıyla birbirlerini bloke etmesi,
- Dislokasyonların noktasal kusurlar (boşluklar, yabancı atomlar) tarafından engellenmesi,
- İkinci faz çökeltileri ve makro partiküller tarafından oluşturulan bariyer etkisi.

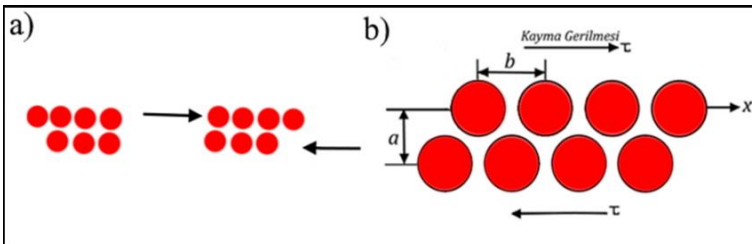
Peierls-Nabarro sürtünme gerilmesi, kristal kafesin periyodik yapısından kaynaklanan ve dislokasyon hareketini sınırlayan bir dirençtir [2,8]. Bu etki, kafes sürtünme kuvveti olarak da bilinir ve özellikle düşük sıcaklıklarda önem kazanmaktadır. Tane sınırları ise, hareket halindeki dislokasyonların ilerleyemediği ve yığıldığı bölgeler olarak işlev görürler [7]. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırlarının sayısı artar ve dislokasyonların hareketlerine engel oluşturur. Bu durum malzemenin daha fazla direnç göstermesine neden olur ve dolayısıyla malzeme mukavemetini artırır [9]. Küçük açılı tane sınırları (alt taneler) ise tam bir tane sınırı gibi davranmasa da kristalde oluşan deformasyon nedeniyle dislokasyon hareketini zorlaştıran bir etkiye sahiptir [5]. Aynı kayma düzleminde hareket eden dislokasyonların sayısı arttıkça dislokasyon yığılmaları meydana gelir ve bunların ileriye hareket edebilmesi için daha fazla gerilme gerektirir [2]. Özellikle farklı kayma düzlemlerinde ilerleyen dislokasyonlar, Cottrell-Lomer engelleri gibi kaymayan dislokasyonlara dönüşebilir veya birikmiş dislokasyon yapıları ile etkileşime girerek hareketlerini kısıtlayan basamaklar oluşturabilir [10]. Bu durum pekleşme olarak bilinen mekanizmayı tetikler ve malzemenin sertliğini artırır. Yabancı atomlar ve noktasal kusurlar, kristal kafesi lokal olarak bozarak elastik şekil değişimini sınırlar ve dislokasyonların öz enerjisini düşürür [11]. Böylece dislokasyonların hareketi için daha fazla enerji gerektiren bir ortam oluşturur ve bu da malzemenin dayanımının artmasına yol açmaktadır. İkinci faz çökeltileri ve partiküller ise, bağlı oldukları kafese göre farklı mekanizmalarla dislokasyon hareketini engeller. Kafese bağlı olan çökeltiler, serbest çökeltilere kıyasla daha büyük bir gerilme alanı oluşturduğundan çökelti sertleşmesi üzerinde daha etkili bir rol oynarlar [12].

2.2. Dislokasyonların Varlığı ve Kristallerin Teorik Mukavemeti

Dislokasyonları doğrudan gözlemlemeye yönelik birçok gelişmiş teknik bulunsa da kristal yapıdaki çizgisel kusurların varlığı dislokasyon çalışmalarının ilk dönemlerinde dolaylı kanıtlarla ortaya konmuştur. Taylor, Orowan ve Polanyi'nin 1934 yılında birbirlerinden bağımsız olarak dislokasyonları keşfetmesine kadar metallerin nasıl eğilip büküldüğü veya çeliğin dövülerek nasıl sertleştiği uzun süre bilinmezliğini korumuştur. Günümüzde ise metallerin şekil değiştirebilme yeteneklerinin ve plastik deformasyon sırasında işlenerek

sertleşmelerinin dislokasyonlarla doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir [4]. Dislokasyonların varlığına dair en önemli kanıtlardan biri tek kristallerin plastik deformasyona uğrayabilmesi için gereken kayma gerilmesinin teorik ve deneysel değerleri arasındaki büyük farkı açıklama çabalarıdır [2]. Kristal yapı içerisindeki noktasal kusurlar örneğin atom boşlukları atomların kristal yapıda hareket edebilmesine olanak tanımaktadır.

Dislokasyonlar veya eksik atom sıraları da atomların belirli düzlemler boyunca toplu halde kaymasına imkân sağlayarak plastik deformasyonu kolaylaştırır. Şekil 2.2'de bu hareketlerin nasıl gerçekleştiğine dair basitçe şematik bir gösterim sunulmuştur. Şekil 2.2a'da gösterildiği gibi kristal yapılarda kayma işlemi tek bir adımda gerçekleşmek istendiğinde üst ve alt düzlemlerdeki tüm atomlar arasındaki bağların aynı anda kopması gerekir ki bu da oldukça yüksek bir kuvvet gerektirir. Ancak atomlar tek bir hamlede kaydırılmak yerine sırasıyla adım adım hareket ettirildiğinde gerekli kuvvet önemli ölçüde azalır. Bu süreç dislokasyon hareketinin temelini oluşturur ve kristal yapının kaymasını kolaylaştırır [4]. Nitekim mükemmel bir kristalde teorik kayma mukavemeti ile gerçek malzemelerde ölçülen değerler arasında belirgin farklar mevcuttur. Teorik olarak bir kristalin tüm kesit alanı boyunca metalik bağların aynı anda kopması gerektiği düşünüldüğünde şekil değişimi için her cm^2 başına gigapaskal (GPa) mertebesinde bir kuvvetin uygulanması gerekecektir. Ancak deneysel veriler gerçek malzemelerde bu değer çok daha düşük (MPa mertebesinde) olduğunu ortaya koymaktadır [5,10]. Bu büyük farkın temel sebebi plastik deformasyonun atomik düzlemlerin kolektif olarak kaymasıyla değil dislokasyonların hareketi ile gerçekleşmesidir. Eğer kusursuz bir kristalde bir atom düzleminin diğerinin üzerinden kayması istenirse tüm atomların senkronize hareket etmesi gerekir. Oysa dislokasyonların varlığı deformasyonu kolaylaştırarak bu senkronizasyon ihtiyacını ortadan kaldırır ve kristal yapının çok daha düşük gerilmelerde şekil değiştirmesine imkân tanımaktadır [3,6,13].



Şekil 2.2. a) Kayma işlemi ve b) Kayma modeli şematik gösterimi

Şekil 2.2b'de, iki sıra atom tabakasının kayma gerilmesi altında olduğu bir model sunulmuştur. Bu modelde, a : Atom tabakaları arasındaki mesafeyi

(düzlemler arası mesafe), b : Kayma yönündeki atomlar arasındaki mesafeyi (atomlar arası mesafe), x : Öteleme miktarını, τ : Teorik kayma gerilmesini temsil etmektedir. Bu doğrultuda, τ kayma gerilmesi altında iki atom tabakası birbiri üzerinde kaydığında atomlar denge konumuna ulaşmaktadır. İki atom bulundukları konumdan üst üste bir konuma geldiğinde gerilme miktarı sıfırdır. Ancak bu konumlar arasında gerilme periyodik olarak değişmektedir. Bu nedenle τ gerilmesinin neden olduğu öteleme miktarı x , b periyotlu bir fonksiyon olup aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilmektedir [6].

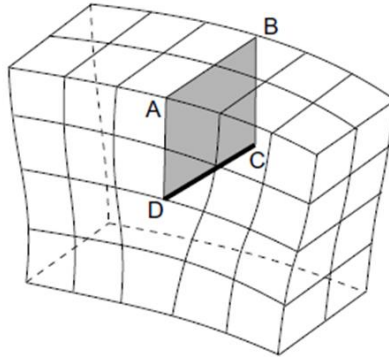
$$\tau = \frac{b}{a} \frac{G}{2\pi} \quad 1.1$$

2.3. Dislokasyon türleri

Kristal yapılar içindeki dislokasyonlar malzemelerin mekanik özelliklerini büyük ölçüde belirleyen yapısal kusurlardır. Plastik deformasyonun temel mekanizmalarından biri olan dislokasyon hareketi kenar dislokasyonu, vida dislokasyonu ve karışık dislokasyon şeklinde üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu dislokasyon türleri kristal kafes içindeki hareket tarzlarına ve malzemenin mekanik davranışına olan etkilerine göre farklılık gösterir.

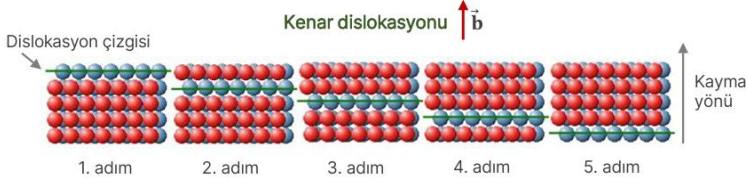
2.3.1. Kenar dislokasyonu

Kristal içinde kayan ve kaymayan bölgeleri birbirinden ayıran sınıra kenar dislokasyonu denir. Kenar dislokasyonu kayma yönünde hareket eder ve kayma düzlemi adı verilen bir düzlem üzerinde ek yarı düzlemin yerleşmesi veya çıkarılması sonucunda oluşmaktadır [2,3]. Bu tür dislokasyonlar kayma düzlemi boyunca hareket ederek plastik deformasyona neden olur ve malzemenin sünekliğini belirleyen önemli bir faktördür [14]. Şekil 2.3'te A-B-C-D hattı boyunca bir kenar dislokasyonunun şematik bir hali gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Kenar dislokasyonu şematik gösterimi [3]

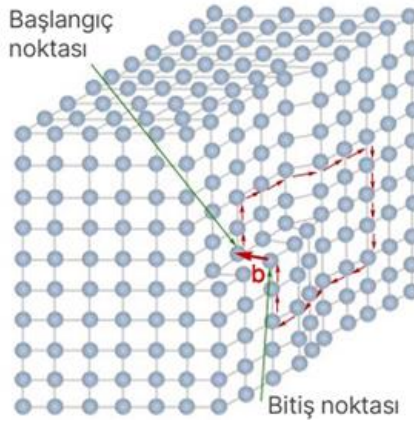
Şekilde, A-B-C hattı ekstra eklenmiş bir yarı düzlem olarak görülmektedir. D noktası dislokasyon çekirdeğini temsil eder. Kayma düzlemi ekstra yarı düzlemin bittiği yerden başlar ve dislokasyon hareketi bu düzlem boyunca ilerler. Dislokasyon hareketi atomik bağların sırayla kopması ve yeniden oluşmasıyla sağlanır. Ancak tane sınırları, çökelti, yabancı atomlar ve diğer dislokasyonlar gibi faktörler bu hareketi sınırlayarak malzemenin mukavemetini artırabilir [15]. Kenar dislokasyonları genellikle yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip metallerde ve soğuk şekillendirilmiş malzemelerde daha yaygın görülür. Bu tür malzemelerde dislokasyon yoğunluğunun artması malzemenin pekleşmesine neden olur ve bu da daha yüksek mukavemet sağlamaktadır [16].



Şekil 2.4. Kenar dislokasyonunun kayma mekanizması [4]

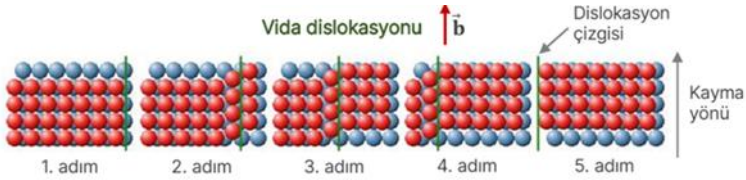
2.3.2. Vida dislokasyonu

Vida dislokasyonu, kristal yapıda atomik düzlemlerin dislokasyon hattı boyunca helisel bir kayma göstermesiyle oluşan çizgisel bir kusurdur. Bu tür bir dislokasyonda atomik düzlemler dislokasyon hattı idealize edilmiş bir spiral merdiven modeliyle benzerlik gösterir [2,3]. Şekil 2.5'te vida dislokasyonunun şematik bir gösterimi sunulmaktadır.



Şekil 2.5. Vida dislokasyonu şematik gösterimi [4]

Dislokasyon hattına yukarıdan bakıldığında eğer helis saat yönünde döndüğünde bir düzlem ilerliyorsa bu sağ eli (right-handed) vida dislokasyonu olarak adlandırılır, ters yönde hareket ediyorsa sol eli (left-handed) vida dislokasyonu olarak tanımlanır [15]. Vida dislokasyonları, kenar dislokasyonlarından farklı olarak belirli bir kayma düzlemine bağlı değildir ve kristal yapının farklı yönlerinde hareket edebilir (Şekil 2.6). Bu hareket serbestliği özellikle yüksek sıcaklık deformasyon mekanizmalarında ve sünek malzemelerde önemli bir rol oynamaktadır [14]. Plastik deformasyon sırasında vida dislokasyonları kristal yapı içinde ilerleyerek malzemenin şekil değiştirme kapasitesini artırır. Ancak yüksek dislokasyon yoğunluğu ve engelleyici faktörlerin varlığı pekleşmeye yol açarak malzemenin mukavemetini artırır [16].



Şekil 2.6. Vida dislokasyonu kayma mekanizması [4]

2.3.3. Karışık dislokasyon

Karışık dislokasyon, hem kenar hem de vida dislokasyonlarının özelliklerini bir arada barındıran bir dislokasyon türüdür. Dislokasyon hattı boyunca farklı bölgelerde bazı yerlerde kenar dislokasyonu, bazı yerlerde ise vida dislokasyon karakteri baskın hale gelebilir. Bu tür dislokasyonlar malzeme içindeki deformasyon mekanizmasına hem kayma hem de tırmanma süreçleri aracılığıyla katkıda bulunurlar. Gerçek kristal yapılarında dislokasyonlar genellikle saf kenar veya saf vida formunda kalmazlar ve dış yükler, iç gerilmeler veya kristal içindeki düzensizlikler nedeniyle karmaşık bir yapı kazanırlar. Bu nedenle karışık dislokasyonlar mühendislik malzemelerinde en yaygın gözlenen dislokasyon türlerinden biri olarak öne çıkmaktadır [3].

3. Mukavemet Artırma Mekanizmaları

Mühendislikte sağlam ve dayanıklı malzemeler elde etmek her zaman önemli bir hedef olmuştur. Bir malzemenin mukavemetini artırmak aslında o malzemenin iç yapısında belirli değişimlerin gerçekleşmesini sağlamakla mümkündür. Bazen bu atom seviyesinde küçük çökelmeler oluşturulmakla bazen ise tane boyutunu değiştirmek veya faz dönüşümleri ile ilgili işlemlerle başarılmaktadır. Çoğu zaman tek bir yöntem yeterli olmamakla birlikte birkaç farklı mekanizma bir arada uygulanarak malzemenin daha güçlü hale gelmesi

sağlanmaktadır. Aşağıda malzemelerin mekanik dayanımını artırmak için kullanılan temel mukavemet artırma yöntemleri sıralanmıştır [6,17].

1. Deformasyon sertleştirilmesi
2. Alaşım sertleştirilmesi
3. Çökelme ve dispersiyon sertleştirilmesi
4. Tane sınırı sertleştirilmesi
5. Deformasyon yaşlanması sertleştirilmesi
6. Karma (Composite) malzeme sertleştirilmesi
7. Martenzitik dönüşüm sertleştirilmesi
8. Tekstür oluşumu ile sertleştirme
9. Fiber sertleştirilmesi
10. Radyasyon etkisi ile sertleştirme

3.1. Deformasyon Sertleştirilmesi

Deformasyon sertleştirilmesi, metal malzemelerin plastik deformasyona uğramasıyla dislokasyon yoğunluğunun artması sonucu sertlik ve mukavemetlerinin yükselmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu süreç özellikle sünek metallerde belirgin şekilde gözlemlenir ve metal şekillendirme işlemlerinde mekanik özelliklerin kontrolü açısından kritik bir rol oynamaktadır [2,8,18]. Deformasyon sertleştirilmesi metalin kristal yapısına, dislokasyon yoğunluğuna ve alaşım elementlerinin varlığına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Deformasyon sırasında dış yükler altında kristal kafes içinde hareket eden dislokasyonların yoğunluğu artarak birbirleriyle etkileşime girmektedir ve hareket kabiliyetleri azalmaktadır. Bunun sonucunda malzemenin şekil değişim kabiliyeti azalırken akma gerilmesi artmaktadır [19]. Malzeme yapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğunun malzemenin mukavemetine etkisi aşağıdaki bağıntı (Denklem 3.1) ile hesaplanmaktadır,

$$\sigma = \sigma_0 + M\alpha Gb\sqrt{\rho} \quad 3.1$$

Burada, σ : akma gerilmesini, σ_0 : başlangıç akma gerilmesini, M: Taylor faktörünü, α : malzeme bağımlı sabitini, G: kayma modülünü, b: burgers vektörünü, ρ : dislokasyon yoğunluğunu ifade etmektedir. Bu bağıntı, malzemelerin plastik deformasyonu sırasında dislokasyon yoğunluğunun malzemenin akma gerilmesine etkisini açıklamaktadır ve Taylor yasası olarak bilinmektedir [3]. Ayrıca alaşım elementlerinin eklenmesi de dislokasyon hareketlerini kısıtlayarak sertleşme sürecini daha da etkili hale getirebilmektedir. Isıl işlemlerle sertleştirilemeyen metaller ve alaşımlar için deformasyon sertleşmesi mukavemet özelliklerini iyileştirmek adına önemli bir yöntemdir. Bu mekanizma

özellikle metallerin mukavemetini artırmak amacıyla birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Plastik şekillendirme işlemlerinde uygulanan sıcaklık seviyesine bağlı olarak farklı deformasyon mekanizmaları devreye girmektedir. Bu sıcaklık seviyesi benzeş sıcaklık (Homologous Temperature, T_b), yani malzemenin şekillendirilmesi sırasında ulaşılan sıcaklığın malzemenin ergime sıcaklığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekillendirme işlemleri benzeş sıcaklık dikkate alınarak soğuk veya sıcak şekillendirme olarak sınıflandırılır [1,6].

$$T_b = T_d/T_e \text{ [K]}$$

$0 < T_b \leq 0.2$: Soğuk deformasyon

$0.2 < T_b \leq 0.5$: Ilık deformasyon

$0.5 < T_b < 1$: Sıcak deformasyon

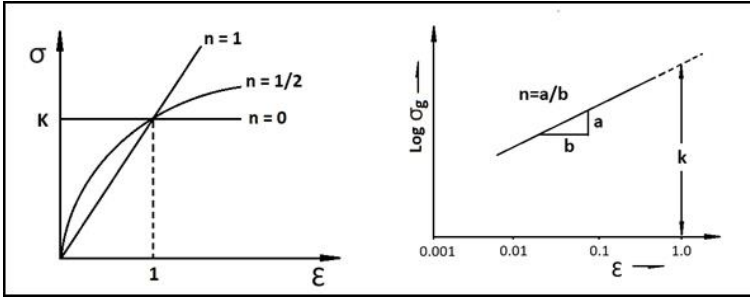
Burada; T_b : benzeş sıcaklık, T_d : deformasyon sıcaklığı, T_e : ergime sıcaklığını temsil etmektedir.

Soğuk deformasyon sırasında harcanan enerjinin bir kısmı dislokasyon enerjisine dönüşürken geri kalanı ısı olarak kaybolur. Bu süreçte dislokasyon yoğunluğunun artması malzemenin akma dayanımında yükselmeye neden olmakta ve dolayısıyla sertlik/dayanım artışı gerçekleşmektedir. Aşağıdaki gerilme-birim şekil değişimi diyagramında (Şekil 3.1) görüldüğü gibi uygulanan deformasyon oranı arttıkça malzemenin hem akma hem de çekme dayanımları artmaktadır. Ancak bu artış özellikle akma dayanımında daha belirgindir ve deformasyon ilerledikçe akma ve çekme dayanımları arasındaki fark giderek azalmaktadır. Soğuk şekil değişimi sırasında malzemelerin sertleşme davranışı Hollomon Denklemi ile tanımlanır ve bu denklem gerinim sertleşmesini (strain hardening) açıklamak için kullanılmaktadır [8,20]. Hollomon denklemi şu şekilde ifade edilmektedir,

$$\sigma = K \varepsilon^n \quad 3.2$$

Burada, σ : gerilmeyi, K : mukavemet katsayısı sabitini, ε : plastik şekil değiştirmeyi ve n : gerinim sertleşme katsayısını (deformasyon sertleşmesi üssü) ifade etmektedir. Bu denklem metalik malzemelerin plastik deformasyon sürecindeki sertleşme davranışlarını açıklamak için kritik bir role sahiptir. Soğuk şekillendirmenin veya plastik deformasyonun metale etkisi deformasyon sertleşme üssü (n katsayısı) ile belirlenmektedir. n değeri, logaritmik olarak çizilen gerçek gerilme-gerçek şekil değiştirme eğrisinin eğimine karşılık gelir ve malzemenin sertleşme davranışını tanımlamak için önemli bir parametredir. Genel olarak metalik malzemelerde n değeri 0 ile 0.45 arasında değişmektedir ve birçok mühendislik malzemesi için 0.15 ile 0.25 arasındadır. Sıcak deformasyon koşullarında n değeri sıfıra yaklaşır bu da malzemenin pekleşme yeteneğinin

azaldığını göstermektedir. Ayrıca n değerinin artması malzemenin üniform şekil değişimi miktarını da artırır yani malzeme daha homojen bir şekilde deformasyona uğramaktadır. Dayanım sabiti (K) ise malzemenin genel dayanımı hakkında bilgi verir ve K değerinin yüksek olması malzemenin yüksek dayanımlı olduğunu göstermektedir. K ve n değerleri malzemenin mikroyapısına ve uygulanan ısıt işlemlere bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, n katsayısı sıcaklıktan etkilenmektedir. Dolayısıyla sıcaklık arttıkça n değeri düşer ve deformasyon hızı arttıkça da azalır [8,21].



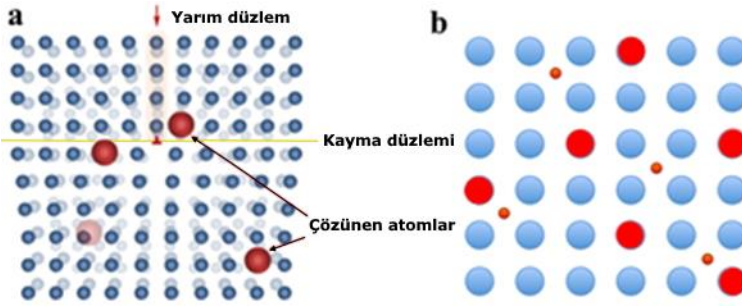
Şekil 3.1. a) n değerinin değişimi, b) n ve K değerlerinin tayini [8]

Şekil 3.1a, farklı n değerleri için malzemenin sertleşme eğilimlerini göstermektedir. $n=0$ olduğunda malzeme şekil değişimine uğradıkça gerilme sabit kalır, $n=1/2$ değerinde gerilme artışı belirgin hale gelirken, $n=1$ olduğunda malzeme en yüksek gerilme eğilimini sergilemektedir. Şekil 3.1b, gerçek gerilmenin (σ) ve gerçek birim şekil değişiminin (ϵ) logaritmik ölçeklerde grafiğe dökülmesi sonucunda elde edilen doğrunun eğimi n değerini verir. Bu eğim malzemenin deformasyon sertleşme kapasitesini ve dayanım artış potansiyelini tanımlamaktadır.

3.2 Alaşım Sertleştirme

Malzemelerin mukavemetini iyileştirmek için genellikle kimyasal kompozisyonun değiştirilmesi ve mikroyapıya müdahale edilmesi gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Alaşım sertleştirme de bu yöntemlerden birisidir. Alaşım sertleştirme, malzemenin mukavemetini artırmak amacıyla kimyasal bileşenine farklı alaşım elementlerinin eklenmesi işlemidir. Bu işlem sonucunda eklenen alaşım elementi ya saf metal içinde çözünerek tek fazlı bir yapı oluşturur (katı çözelti sertleşmesi) ya da çözünmeyen ikinci bir fazın ortaya çıkmasına (ikinci faz sertleşmesi) neden olmaktadır [1,6,22]. Katı çözelti sertleşmesi, farklı atomların metal kafesi içine girerek yapıyı bozması ve böylece dislokasyon hareketlerini zorlaştırması prensibine dayanmaktadır. Bu sertleştirme mekanizması, büyük veya küçük atomların metal matrisinde

çözünmesiyle gerçekleşir. Küçük atomlar (örneğin; karbon, azot, bor) ya da daha büyük atomlar (örneğin; nikel, çinko ve mangan) kristal yapıyı gererek malzemenin mukavemetini artırır. Örneğin, alüminyum-magnezyum (Al-Mg) alaşımlarında, magnezyum atomlarının alüminyum kafes yapısını bozarak dayanımı artırdığı bilinmektedir [1,23,24]. Bazı durumlarda alaşım elementleri ana metal içinde tamamen çözünmez ve bunun yerine ikinci bir faz oluşturur. İkinci faz sertleşmesi, bu çözünmeyen fazların metal matrisinde dağılmasıyla gerçekleşmektedir. Örneğin, çeliklerde karbonun demir ile birleşerek sementit (Fe_3C) fazını oluşturması malzemenin mukavemetini ve sertliğini önemli ölçüde artırır [24,25].



Şekil 3.2. a) Yabancı atomların oluşturduğu kafes distorsiyonu ve dislokasyon hareketlerinin engellenmesi, b) Bir katı çözelti oluşumunun şematik gösterimi [4].

3.3. Çökelme ve Dispersiyon Sertleştirilmesi

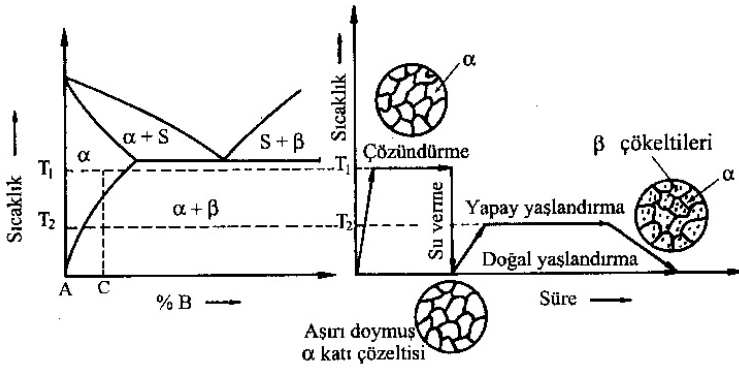
Çökelme sertleştirilmesi ve dispersiyon sertleştirilmesi metallerin mukavemetini artıran önemli mekanizmalar arasında yer almaktadır. Her iki süreç de dislokasyon hareketlerini kısıtlayarak dayanımı artırmayı amaçlasa da temel uygulama prensipleri ve elde edilen mikro yapılar açısından önemli farklılıklar göstermektedir.

3.3.1. Çökelme sertleştirilmesi

Çökelme sertleştirilmesi, literatürde yaşılandırma sertleşmesi olarak da bilinen ve metal matrisinde sert ve ince çökeltilerin oluşmasını sağlayarak malzeme mukavemetini artıran bir ısıl işlem yöntemidir [26]. Bu teknik sünek ve yumuşak bir matris içerisinde bağdaşık çökeltilerin homojen bir şekilde dağılmasını hedefleyerek mekanik özelliklerin iyileştirilmesine katkı sunmaktadır [1]. Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar yüksek sıcaklıklarda aşırı doymuş katı çözelti oluşturabilen sistemlerdir. Uygun sıcaklık ve sürede gerçekleştirilen bu süreç sonucunda ikinci faz çökeltileri meydana gelir ve malzemenin sertliği

ile mukavemeti belirgin şekilde artmaktadır [25]. Bu yöntem özellikle Al, Mg ve Ti alaşımları gibi demir dışı metallerde ve yüksek mukavemetli çeliklerde tercih edilen önemli bir mukavemet artırma mekanizmasıdır [23]. Çökelme sertleşmesi denge diyagramlarında solvüs eğrisine sahip ve katı fazda kısmi çözünürlük gösteren alaşım sistemlerine uygulanabilir. Örneğin, Al-%4Cu (duralümin) alaşımı çökelme sertleşmesine tabi tutulabilen klasik malzemelerden biridir [6,24,27].

Çökelme sertleşmesi, metal alaşımlarının mukavemetini artırmaya yönelik üç temel aşamadan oluşan kontrollü bir prosestir. Bu aşamalar sırasıyla çözeltiye alma, aşırı doymuş katı çözelti oluşturma (su verme) ve yaşlandırma işlemleridir [28]. Şekil 3.3'te çökelme sertleştirme süreci aşamaları verilmiştir.

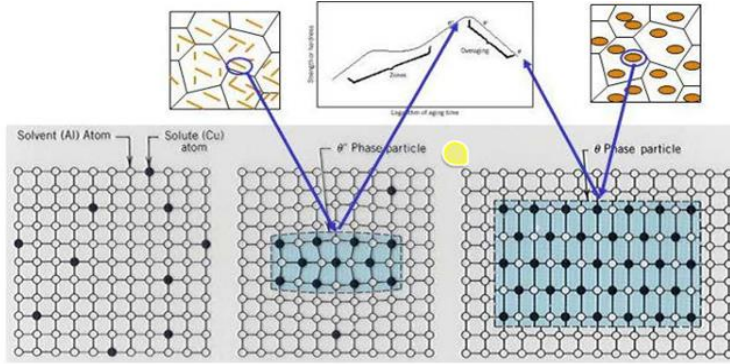


Şekil 3.3. Çökelme sertleşmesi aşamaları [6]

1. Çözeltiye alma; Bu aşamada alaşım, çökeltilerin tamamen çözünmesi ve homojen bir faz oluşturma amacıyla belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Matris fazı olan α -fazı içerisine alaşım elementleri çözündürülerek tek fazlı bir mikro yapı elde edilir. Isıl işlem sıcaklığı denge diyagramındaki solvüs eğrisi altında seçilir ve işlem sırasında erime sınırlarının aşılmamasına dikkat edilir [25]. Bu aşamada mikro yapı tamamen homojen hale getirilir ve çözünen faz metalin tüm matrisi boyunca tekdüze dağılır.

2. Aşırı doymuş katı çözelti oluşturma (su verme); Çözeltide tutulan alaşım ani soğutma işlemiyle dengesiz aşırı doymuş bir katı çözelti oluşturacak şekilde hızla soğutulur. Bu işlem çökeltilerin aniden oluşmasını önler ve alaşım elementi atomlarının matris içinde homojen şekilde dağılmasını sağlar. Özellikle alüminyum, titanyum ve nikel bazlı süper alaşımlarda çökelme sertleşmesi sürecinin en kritik aşamalarından biri olarak kabul edilmektedir [23]. Su verme işlemi malzemenin mukavemet kazanabilmesi için çökeltilerin kontrollü bir şekilde büyüebilmesi adına uygun bir başlangıç yapısını oluşturur.

3. Yaşlandırma; aşırı doymuş katı çözelti içinde ikinci faz çökeltilerinin kontrollü bir sıcaklıkta oluşmasına ve büyümesine olanak tanır. Bu süreç doğal yaşlandırma ve yapay yaşlandırma olmak üzere iki şekilde uygulanabilir. Doğal yaşlandırma, oda sıcaklığında uzun süre bekletilerek gerçekleşirken yapay yaşlandırma, belirlenen sıcaklıklarda kontrollü bir süre boyunca uygulanarak sert çökeltilerin hızla oluşmasını sağlar [29]. Bu aşamada Guinier-Preston bölgeleri (GP Zones) olarak bilinen çökelti öncülleri oluşur ve dislokasyon hareketlerini sınırlandırarak sertleşmeye neden olur (Şekil 3.4). Sürecin ilerlemesiyle bağdaşık (coherent) çökeltiler meydana gelir ve malzeme maksimum sertlik değerine ulaşır. Ancak, yaşlandırmanın aşırı uzun süre devam etmesi çökeltilerin matris ile bağdaşımını kaybetmesine ve mekanik özelliklerin bozulmasına yol açan aşırı yaşlanma (overaging) durumuna neden olabilir. Bu durum genellikle korozyon direncinin artırılmasının istendiği bazı uygulamalar dışında istenmeyen bir etkidir [23].



Şekil 3.4. Yaşlandırma safhalarını gösteren şematik şekil [1]

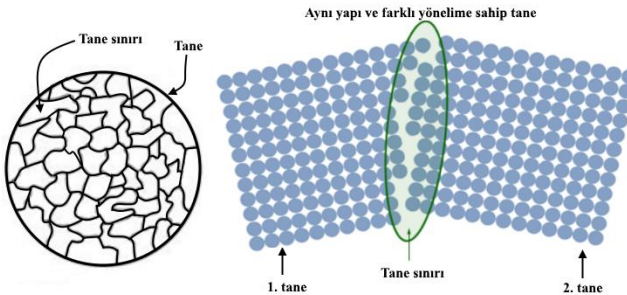
3.3.2. Dispersiyon sertleştirilmesi

Dispersiyon sertleştirilmesi, metal matrisine çözünmeyen ısıya dayanıklı ve ince taneli ikinci faz partiküllerinin homojen bir şekilde dağıtılmasıyla mukavemetin artırıldığı bir mekanizmadır [30]. Bu yöntem, ana faz yapısında kararlı partiküllerin bulunması sayesinde çökeltme sertleşmesinden farklı olarak çökeltilerin yüksek sıcaklıklarda erimesini önler ve malzemenin stabilitesini korumaktadır. Dispersiyon sertleştirilmesi, mikro yapıya eklenen oksit, karbür veya nitrür gibi nano boyutlu partiküller aracılığıyla dislokasyon hareketlerini sınırlandırarak malzemenin sertliğini ve mukavemetini artırır [31,32]. Bu yöntemin en önemli avantajlarından biri partiküllerin ısıya dayanıklı olması nedeniyle yüksek sıcaklıklarda mukavemet kaybının önlenmesidir. Dispersiyon sertleşmesi ile sertleştirilmiş alaşımlar aşınma ve sıcaklık dayanımı gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Sonuç olarak dispersiyon ve çökeltme

sertleşmesi metal alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan kritik mukavemet artırıcı mekanizmalarındandır. Çökeltme sertleşmesi, belirli bir sıcaklıkta oluşan ikinci faz çökeltilerine dayanırken dispersiyon sertleşmesi, matris içinde stabil partikül dağılımı sayesinde mukavemetin korunmasını sağlamaktadır. Çökeltme sertleştirilmiş malzemeler, hafif yapısal bileşenlerde yaygın olarak kullanılırken, dispersiyon sertleştirilmiş alaşımlar havacılık, uzay ve enerji sektörü gibi yüksek sıcaklık ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda öncelikli olarak tercih edilmektedir.

3.4. Tane Sınır Sertleştirilmesi

Mühendislik uygulamalarında kullanılan metal ve alaşımların mikroyapıları incelendiğinde genellikle farklı yönelimlere sahip tanelerden oluştuğu gözlemlenir. Bu taneleri birbirinden ayıran sınırlar tane sınırları olarak adlandırılmaktadır. Tane sınırları farklı yönlenmelere sahip kristal yapılar arasındaki geçiş bölgeleri olup dislokasyon hareketlerini kısıtlayarak malzemenin mukavemetini artıran önemli yapısal unsurlardandır [1,33]. Dislokasyonlar tane sınırlarına genellikle iki temel sebepten dolayı takılırlar. İlk olarak tane sınırlarında kristal yapının düzensizliği nedeniyle sürekli bir kayma düzlemi bulunmaz ve dislokasyon hareketi engellenir. İkinci olarak taneler arasındaki yönelim farkları dislokasyonların sınırları aşmasını zorlaştırır [4]. Tane boyutunun küçültülmesi birim hacim başına düşen tane sınırı miktarını artırarak malzemenin sertleşmesine katkıda bulunur. Daha küçük taneli malzemelerde toplam tane sınırı alanı arttığından dislokasyonların serbestçe hareket edebileceği alanlar azalmaktadır. Deformasyon sürecinde dislokasyonlar tane sınırlarında yığılarak dislokasyon yığınları oluşturur. Bu yığınlar ardışık dislokasyonların oluşturduğu kuvvet ile diğer tanelere geçebilir ve kayma devam edebilir. Ancak daha küçük taneli malzemelerde dislokasyon yığınları daha az kuvvet oluşturduğu için dislokasyon hareketi sınırlandırılır ve dayanım etkisi artar [3–5,19]. Şekil 3.5'te tane ve tane sınırlarının temsili şematik bir gösterimi sunulmuştur.



Şekil 3.5. Tane ve tane sınırları [33]

Tane boyutu ile akma dayanımı arasındaki ilişki Hall-Petch denklemi ile açıklanır [16],

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2} \quad 3.2$$

Bu eşitlikte σ_y malzemenin akma dayanımını, σ_0 kristalin dislokasyon hareketine gösterdiği direncini (yani dislokasyonları harekete geçirmek için uygulanması gereken gerilme miktarını), k malzemeye özgü sabiti, d ise malzemedeki ortalama tane boyunu ifade etmektedir. Bu denklem tane boyutu küçüldükçe malzemenin akma dayanımının arttığını gösterir. Ancak belirli bir tane boyutunun altına inildiğinde Hall-Petch ilişkisi geçerliliğini kaybedebilir ve malzeme gevrekleşebilir veya alternatif deformasyon mekanizmaları devreye girebilir [16,19]. Sonuç olarak tane sınırı sertleştirme mühendislik malzemelerinin mekanik özelliklerini geliştirmek için kritik bir mekanizma olup geniş bir kullanım alanına sahiptir. Malzemelerin mukavemetini artırırken süneklik ve işlenebilirlik gibi diğer özellikleri de etkileyebilir. Ancak tane boyutunun aşırı küçültülmesi malzemenin gevrekleşmesine yol açabileceğinden bu mekanizmanın dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir.

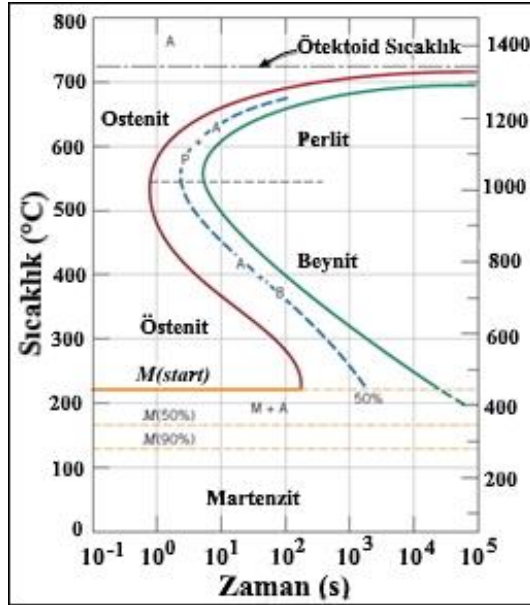
3.5. Martenzitik Dönüşüm Sertleştirme

Martenzitik dönüşüm, metal alaşımlarının mekanik özelliklerini büyük ölçüde değiştiren ve genellikle mukavemet ve sertlik artışı sağlayan önemli bir faz dönüşümüdür. Bu dönüşüm, difüzyon kontrollü faz dönüşümlerinden farklı olarak atomların kayma mekanizmasıyla yer değiştirdiği bir süreçtir. Özellikle Fe-C alaşımlarında mukavemeti artırmak amacıyla yaygın şekilde kullanılan bu mekanizma çelikler ve bazı özel alaşımlar için kritik mühendislik uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır [1,34,35]. Martenzitik dönüşüm klasik difüzyon süreçlerinden farklı olarak atermal ve hızlı bir faz değişimidir. Bu dönüşümde austenit fazı (YMK) ani soğutma sonucunda martenzit fazına (Hacim Merkezli Tetragonal - HMT) dönüşmektedir [24]. Bu dönüşüm sırasında martenzit belirli kristal yönlerinde hızlı bir şekilde çekirdeklenerek yayılır. Kristal yapı değişikliğiyle birlikte meydana gelen hacim değişimi malzeme içinde yüksek seviyede iç gerilmeler oluşturmaktadır [34,36]. Bunun sonucunda dislokasyon yoğunluğunun artması ve sıkışması malzemeye yüksek sertlik ve mukavemet kazandırarak mekanik dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır.

Martenzitik dönüşüm sadece sıcaklığa bağlı olup zamandan bağımsız bir süreçtir ve bu nedenle atermal dönüşüm olarak sınıflandırılır. Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (ZSD) diyagramlarında martenzitik dönüşüm M_s (martenzit başlangıç) ve M_f (martenzit bitiş) sıcaklıkları ile karakterize edilirler. Bu kritik sıcaklıklar

aşıldığında dönüşüm aniden gerçekleşir ve tamamen difüzyonsuz bir yapı söz konusudur [1,24,34]. Şekil 3.6'da çelik yapılarına ait martenzitik dönüşümler için ZSD diyagramı dönüşüm eğrileri verilmiştir.

Martenzitik dönüşüm, düşük sıcaklıklarda gerçekleşirken daha yüksek sıcaklıklarda perlit ve beynit mikroyapıları oluşmaktadır. *Perlit*, ferrit ve sementitten oluşan bir mikroyapıya sahiptir. Ferrit, düşük karbon içeriğine sahip yumuşak ve sünek bir demir fazıdır, sementit ise karbon bakımından zengin, sert ve kırılgan bir bileşiktir. *Perlit*, bu iki fazın düzenli olarak birbirini izleyen tabakalar şeklinde bir arada bulunduğu bir yapıdır. *Perlit*teki ferrit fazının tabaka



Şekil 3.6. Martenzitik dönüşüm için TTT diyagramı [37]

kalınlığının sementit fazının tabaka kalınlığına oranı izotermal dönüşümün gerçekleştiği sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Soğutma hızına bağlı olarak perlitin yapısı kaba veya ince olabilir. Düşük soğuma hızlarında ötektoid sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda faz yapısı genellikle daha kalın tabakalı bir yapı bir nevi daha büyük taneli kaba perlit yapısının oluşmasına yol açmaktadır. Kaba perlit, nispeten yumuşaktır ve yüksek dönüşüm sıcaklıklarında oluşmaktadır. Dolayısıyla çekirdeklenmesi yavaş ve büyümesi ise hızlı olarak gerçekleşir. Reaksiyon sıcaklığının düşürülmesiyle (540 °C civarı) daha hızlı soğumalarda karbonun difüzyon hızı düşerek faz tabakaları inceler ve ince perlit yapıları ortaya çıkar. İnce perlit yapıları kaba perlite kıyasla daha sert olup süneklikleri düşüktür ve düşük sıcaklıklarda dönüşüm sonucu oluşur dolayısıyla çekirdeklenme hızı yüksektir [24,34,38]. *Beynit*, ostenitin dönüşümü sonucu

oluşan ferrit matris içinde ince ve yoğun dağılım gösteren sementit parçacıklarını içeren bir fazdır. İnce yapı sayesinde perlite kıyasla daha yüksek sertlik ve dayanım sağlarken sünekliği belirli bir seviyede korunur. *Martenzit*, yüksek sertlik ve düşük süneklik özelliklerine sahip oldukça kırılğan bir mikroyapıdır. Bu özellik HMT kafes yapısındaki kayma sistemlerinin sınırlı olması ve su verme sırasında oluşan iç gerilmelerin etkisiyle ortaya çıkmaktadır [1,37,38]. Örneğin çelik yapıların yüksek soğuma hızlarında karbon atomları kafes yapısında yeterince hareket edemez ve bu nedenle martenzitin oluşumunu sağlayan kristal yapının arayer noktalarında sıkışır neticede aşırı doymuş ve kararsız bir katı çözeltisi oluşur. Martenzitik dönüşüm hızı, difüzyona bağlı olmadığı için zamandan bağımsızdır. Şekil 3.6'da $M_{(start)}$ ve $M_{(90\%)}$ çizgileri, martenzitik dönüşümün başlangıç ve bitiş noktalarını göstererek dönüşüm sürecinin nasıl ilerlediğini açıklamaktadır. Sonuç olarak martenzitik dönüşüm sertleştirme, metal alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştiren kritik bir yöntemdir. Ancak bu dönüşüm, yüksek sertlik ve mukavemet sağlarken iç gerilmeler ve kırılğanlık gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, malzemenin performansını en iyi seviyeye çıkarabilmek için uygun ısı işlem parametrelerinin dikkatlice belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Gelecekte, martenzitik fazın süneklik ve mukavemet arasındaki dengesini iyileştirmeye yönelik araştırmalar bu dönüşümün daha geniş kullanım alanlarına yayılmasını sağlayacaktır.

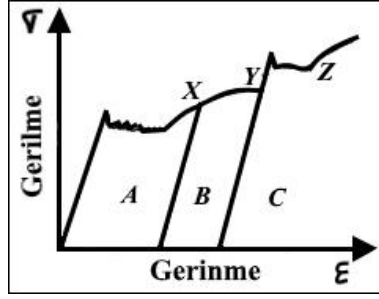
3.6. Radyasyon Etkisi ile Sertleştirme

Radyasyon, metal malzemelerin kristal yapısında yapısal değişimlere neden olan önemli bir faktördür. Yüksek enerjili parçacıkların malzeme atomlarıyla etkileşime girmesi atomların yer değiştirmesine ve kristal yapı içinde düzensizliklerin oluşmasına yol açmaktadır. Bu süreç sonucunda yapıda boşluklar, ara yer atomları ve dislokasyon yoğunluğunda artışlar gözlemlenir. Bu tür kusurların birikimi malzemelerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyerek sertleşme, gevrekleşme ve süneklik kaybına neden olmaktadır [6,39]. Radyasyonun neden olduğu kusurların oluşum mekanizması kullanılan radyasyon türüne bağlıdır. Metalik malzemeler üzerinde etkili olabilecek başlıca radyasyon türleri nötron radyasyonu, alfa (α) parçacıkları, beta (β) parçacıkları ve gama (γ) ışınlarıdır [6,13,40]. Bu radyasyon ışınları yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar olup atomik bağları etkileyerek malzemenin yapısal özelliklerini değiştirebilmektedir [41]. Radyasyon sertleşmesi, malzemenin akma ve çekme dayanımını artırırken sünekliğini azaltan bir süreçtir. Kristal yapı içinde oluşan kusurlar, dislokasyonların hareketini engelleyerek malzemenin daha sert hale gelmesine neden olur. Ancak bu süreç aynı zamanda sünek-gevrek geçiş sıcaklığını yükseltir. Özellikle nükleer reaktör bileşenlerinde bu etki düşük

sıcaklıklarda kırılabilirliğin artmasına neden olabilir. Radyasyonun neden olduğu kristal bozulmaları yalnızca mekanik özellikleri değil elektriksel ve termal özellikleri de değiştirir yani elektrik direnci, kristal yapıdaki düzensizliklerin artması sonucu yükselir, ısı iletkenlik ise azalır. Radyasyon birikimi özellikle nötron bombardımanına maruz kalan metaller radyoaktif izotopları içerebilir ve bu durum sağlık açısından da risk oluşturur. Radyasyon nedeniyle sertleşmiş malzemeler kontrollü ısı ısıtma süreçleriyle yeniden optimize edilebilir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki bir tavlama işlemi radyasyonun oluşturduğu kusurların giderilmesini sağlayabilir. 800-1000 K sıcaklık aralığında yapılan ısıtma işlemleri malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirebilir [6,40,41].

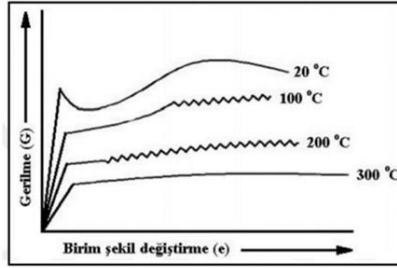
3.7. Deformasyon Yaşlanması Sertleştirilmesi

Deformasyon yaşlanması sertleşmesi, özellikle düşük karbonlu çelikler gibi malzemelerde gözlemlenen ve zamanla mekanik özelliklerin değişmesine neden olan bir olgudur. Bu mekanizma, düşük karbonlu çeliklerde yaygın olarak görülen akma noktası olayı ile doğrudan ilişkilidir [10,42]. Deformasyon yaşlanması sürecinde plastik deformasyona uğramış malzeme içerisindeki karbon (C) ve azot (N) gibi arayer atomları zamanla dislokasyonlara difüze ederek bir Cottrell atmosferi oluşturur. Bu atmosferin oluşumu dislokasyon hareketini kısıtlayarak metal ve alaşımların mekanik özelliklerinde belirgin değişimlere yol açmaktadır [43–45]. Bunun sonucunda malzemenin akma dayanımı artarken sünekliği azalmaktadır. Plastik deformasyon sonrasında malzemenin mekanik özelliklerinde gözlenen değişim statik yaşlanma sertleşmesi olarak adlandırılır. Eğer sertleşme süreci plastik deformasyon sırasında meydana geliyorsa, bu durum dinamik yaşlanma sertleşmesi olarak tanımlanır [46]. Statik yaşlanma sertleşmesi, deformasyon tamamlandıktan sonra malzemenin zamanla sertleşmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu süreçte dislokasyonlar C ve N gibi arayer atomları tarafından hapsedilerek hareket kabiliyetlerini kaybeder [47]. Dolayısıyla malzemenin akma gerilimi artış eğilimindedir ve bu durum statik yaşlanma sertleşmesinin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir [45]. Şekil 3.7’de statik yaşlanma sertleşmesi mekanizmasının deformasyon aşamaları gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Statik yaşlandırma sertleşmesi prensibi [42]

Şekil 3.7’de A bölgesi, süreksiz akmanın gözlemlendiği orijinal malzemenin deformasyonunu temsil eder. Bu bölgede düşük karbonlu çelik plastisiteye ulaşarak belirgin akma noktası sonrası deformasyona uğramıştır ve süreksiz akma gözlenmektedir. B bölgesinde deformasyon sonrası yük kaldırılmadan yeniden uygulandığında (X noktasında yük boşaltılmış ancak ısıtma olmadan tekrar çekilmiştir) malzeme süreksiz akma göstermeden plastik deformasyona devam etmektedir. C bölgesinde Y noktasında boşaltılan malzeme belirli bir sıcaklıkta (100-150°C) tavlınmış veya uzun süre bekletilmiştir. Akabinde tekrar çekme uygulandığında süreksiz akma yeniden ortaya çıkmakta fakat bu noktada akma gerilimi artmaktadır. Bu durum C ve N atomlarının dislokasyonlara difüze olmasıyla cottrell atmosferinin yeniden oluşması sonucu dislokasyonların hareketinin kısıtlanmasıyla açıklanabilir. Sonuç olarak malzemenin akma dayanımı artarken sünekliği azalmaktadır.



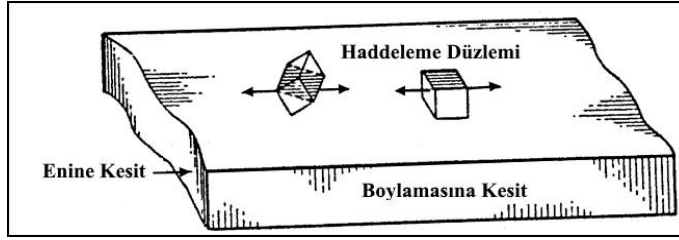
Şekil 3.8. Çelik malzemede Portevin - Le Chatelier etkisini gösteren gerilme-birim şekil değişimi diyagramı [42]

Şekil 3.8, çelik malzemede Portevin - Le Chatelier etkisinin sıcaklığa bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren gerilme-birim şekil değişimi diyagramını temsil etmektedir. Belirli sıcaklıklarda dislokasyonları kilitleyen atmosferin sürekli bozulup yeniden oluşması gerilme-uzama diyagramında testere dişi şeklinde dalgalanmalar oluşturur. Bu dinamik süreç Portevin - Le Chatelier etkisi olarak

adlandırılmaktadır. Bu dalgalanmalar, dislokasyon hareketlerinin arayer atomları (C ve N) tarafından yakalanması ve tekrar serbest bırakılması sonucu oluşmaktadır. Yani deformasyon sırasında sürekli olarak akma ve yaşlanma olaylarının tekrarlanması dinamik deformasyon yaşlanmasına neden olmaktadır. Sıcaklık 200°C civarına ulaştığında testere dişi etkisi hâlâ belirgindir ancak bu noktada deformasyon hızının ve difüzyonun artması nedeniyle Portevin - Le Chatelier etkisi maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Mavi gevreklik bölgesi olarak bilinen bu sıcaklık aralığında malzeme gevrekleşmeye başlar ve süneklik kaybı belirgin hale gelir. 300°C'ye ulaşıldığında eğrinin daha düzgün bir hale geldiği görülmektedir. Bunun nedeni sıcaklığın artışıyla birlikte C ve N atomlarının daha hızlı difüze olarak dislokasyonları etkin bir şekilde kilitleyememesi ve Portevin - Le Chatelier etkisinin ortadan kalkmasıdır. Böylece malzemenin davranışı daha stabil bir hale gelmektedir [48,49]. Sonuç olarak malzemede Portevin - Le Chatelier etkisi belirli bir sıcaklık aralığında maksimum seviyeye ulaşmakta ancak sıcaklık daha da arttıkça deformasyon yaşlanmasının etkisi azalmaktadır. Bu, dinamik deformasyon yaşlanmasının malzemenin mekanik özelliklerini sıcaklığa bağlı olarak önemli ölçüde değiştirdiğini göstermektedir.

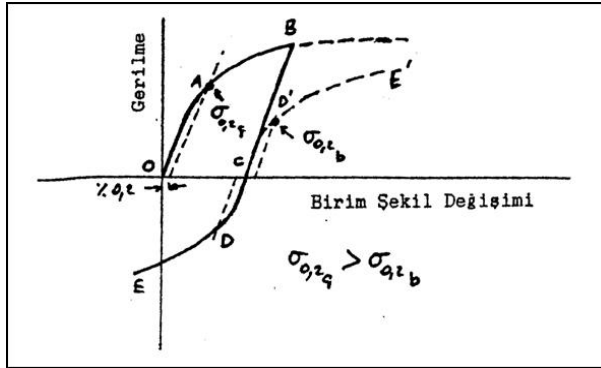
3.8. Tekstür oluşumu

Tekstür oluşumu ifadesi, malzeme bilimi ve metalurji alanında özellikle çok kristalli malzemelerde (örneğin metallerde) kristal tanelerin belirli bir yönde oryante olması durumunu ifade etmektedir. Bu, özellikle soğuk şekillendirme işlemiyle daha anlaşılır hale gelmektedir. Soğuk şekillendirme işlemi, metalin tanelerinin akış yönünde dönmesine yol açarak haddeleme, tel çekme ve çubuk çekme gibi işlemlerle kristal yapılarının belirli bir yönde hizalanmasına yol açmaktadır. Bu yön, malzemenin en büyük deformasyonunu aldığı doğrultudur ve bu olgu "tekstür oluşumu" olarak adlandırılır. Tekstür oluşumu %20 civarında soğuk şekil değişimi ile başlar ancak etkili bir şekilde ortaya çıkması için %50 oranında şekil değişimi gereklidir. Tekstür oluşumu malzemelerin mekanik özelliklerine etki ederek dayanımını artırır, elastite modülüne ve elektrik özelliklerini etkileyerek malzemenin performansı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır [6,17].



Şekil 3.9. Tekstür oluşumu [17]

Tekstür oluşumunun en önemli etkisi malzemenin artık izotrop davranış sergilemek yerine yöne bağlı olarak anizotrop davranış sergilemesi durumudur. Bu duruma “Bauschinger Etkisi” adı verilmektedir. Şekil 3.10’da bu etkiyi gösteren şematik diyagram sunulmuştur. Malzeme önce çekme ardından basma yükü altında yüklendiğinde basmadaki yeni akma geriliminin mutlak değeri genellikle çekmedeki akma geriliminden daha düşüktür. Yani deformasyon yön değiştirdiğinde malzemenin daha düşük bir deformasyona uğradığı görülmektedir. Soğukta plastik şekil değişimine uğramış metallerde görülmektedir [10,16]. Şekil 3.10’da çekme sırasında A noktasında akma gösteren bir metal, B noktasına kadar plastik bölgede çekildikten sonra yükleme boşaltıldığında C noktasına geri gelmektedir. Bu noktadan sonra ters yönde gerilme uygulandığında yani basmaya maruz bırakıldığında malzeme D noktasında akmakta ve bu değer önceki çekme sırasında elde edilen akma dayanımından daha düşük olmaktadır. Bauschinger etkisi, malzemelerin deformasyon sertleşmesinin yönlülüğünü açıklar ve kısaca önceki deformasyonun yönünden kaynaklanan anizotropidir.



Şekil 3.10. Bauschinger etkisi [17]

4. Sonuç ve Öneriler

Metallerde mukavemet artırma mekanizmaları, mühendislik uygulamalarında daha dayanıklı, uzun ömürlü ve yüksek performanslı malzemelerin elde edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Gerek termal işlemler gerek kimyasal

modifikasyonlar gerekse mekanik işleme yöntemleri malzemenin dayanıklılığını arttırma konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Mukavemet artırıcı işlemler sadece mühendislik açısından değil aynı zamanda ekonomik ve sürdürülebilirlik perspektifinden de oldukça önemlidir. Günümüzün üretim süreçlerinde her geçen gün daha güçlü ve dayanıklı malzemeler tasarlanmakta ve bu malzemelerin mukavemeti artırılmakta böylece güvenlik, verimlilik ve maliyet etkinliği sağlanmaktadır. Ele alınan her bir mukavemet artırıcı yöntem, malzeme mühendisliği ve endüstriyel sahada belirli bir ihtiyaca cevap verirken aynı zamanda diğer süreçlerle entegre çalışabilme kapasitesine de sahiptir.

Mukavemet artırıcı işlemler sürekli olarak gelişen bir alan olup yeni teknolojiler ve malzeme bilimindeki ilerlemeler ile daha etkin çözümler sunulabilir. Özellikle nanoteknoloji ve yapısal analiz teknikleri bu alanda büyük bir potansiyele sahiptir. Mukavemet artırıcı işlemlerin seçilmesinde yalnızca malzemenin türü değil aynı zamanda kullanım koşulları, çevresel faktörler ve uzun vadeli performans gereksinimleri de dikkate alınmalıdır. Bu bağlamda her işlem ve teknik sistematik bir yaklaşım ile analiz edilmelidir. Ayrıca endüstriyel üretim süreçlerinde mukavemet artırıcı işlemlerin çevresel etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Yenilikçi, çevre dostu ve düşük enerji tüketen yöntemlerin geliştirilmesi hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük bir önem taşımaktadır.

Kaynakça

- [1] C. William D., R. David G., Materials Science and Eng., 9th ed., Wiley, United States of America, 2014. <https://anupturnedworld.files.wordpress.com/2016/06/callister-materials-science-and-engineering.pdf>.
- [2] A. Peter M., H. John P., L. Jens, Theory of Dislocations, Third Edit, Cambridge University press, New York, 2017. www.cambridge.org.
- [3] H. D., B. D.J., Introduction to Dislocations, Fifth Edit, Elsevier, Great Britain, 2011. www.elsevierdirect.com.
- [4] A. Çetin, Malzemelerin Mekanik Davranışları; Malzeme mühendisliğine yönelik temel kavramlar, (t.y.) 115. <https://muhendishane.org/>.
- [5] A. Reza, A. Lara, R.-H. Robert E., Physical Metallurgy Principles, Fourth Edi, Cengage Learning, United States of America, 2008. https://books.google.com.tr/books/about/Physical_Metallurgy_Principles.
- [6] P. Genççağa, Metallerde Mukavemet Artırıcı Mekanizmalar, (2007) 64. <https://avesis.ktu.edu.tr/purcek/dokumanlar>.
- [7] H. F.J., H. M., Recrystallization and Related Anneling Phenomena, First Edit, Pergamon, 1996. <https://doi.org/9780080983882>.
- [8] L. Çapan, Metallerde Plastik Şekil Verme, 6. Baskı, Çağlayan Kitapevi, 2016. www.caglayan.com.

- [9] E.O. Hall, The Deformation and Ageing of Mild Steel: III Discussion of Results, Proceedings of the Physical Society. Section B. 64 (1951) 747–753. <https://doi.org/10.1088/0370-1301/64/9/303>.
- [10] D. George E., Metallurgy and Metallurgical Engineering Series; Mechanical Metallurgy, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, United States of America, 1961. [https://stu.westga.edu/~bthibau1/MEDT 7477-Cooper/Calibre Library/Dieter_ George Ellwood/Mechanical metallurgy %2813%29/Mechanical metallurgy - Dieter_ George Ellwood.pdf](https://stu.westga.edu/~bthibau1/MEDT%207477-Cooper/Calibre%20Library/Dieter_George%20Ellwood/Mechanical%20metallurgy%20-%20Dieter_George%20Ellwood.pdf).
- [11] A.H. Cottrell, Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Clarendon Press, Chicago, 1961. <https://doi.org/0950-5563>.
- [12] T. Gladman, Precipitation Hardening in Metals, Materials Science and Technology. 15 (1999) 30–36. <https://doi.org/10.1179/026708399773002782>.
- [13] T. Gülmez, Dislokasyonlara Genel Bakış, (t.y.) 80. <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD.html>.
- [14] A.P. Sutton, R.W. Balluffi, Interfaces in Crystalline Materials, Oxford University Press, Oxford, 2006.
- [15] L.P. Kubin, Dislocations, Mesoscale Simulations and Plastic Flow, First Edit, Oxford University Press, Oxford, 2013.
- [16] H. William F., Mechanical Behavior of Materials, Second Edi, Cambridge University press, New York, 2010. www.cambridge.org/9780521195690.
- [17] M. Demirkol, Malzemelerin Mekanik Davranışı (Ders Notları), İstanbul, 2009. <https://www.isikun.edu.tr/akademisyen/2803>.
- [18] F. Kocks, Realistic Constitutive Relations for Metal Plasticity, Materials Science and Engineering A. 317 (2001) 181–187. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)01174-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)01174-1).
- [19] N. Hansen, Hall-Petch Relation and Boundary Strengthening, Scripta Materialia. 51 (2004) 801–806. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2004.06.002>.
- [20] N.S. Köksal, M. Uzkut, B.S. Ünlü, Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlemlerle Değişimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 6 (2004) 95–100. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/590713>.
- [21] S. Cao, F. Li, X. Ma, Z. Sun, Tensile Stress–Strain Behavior of Metallic Alloys, Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 27 (2017) 2443–2453. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(17\)60271-1](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60271-1).
- [22] A. Çetin, Katı Çözeltiyle Güçlendirilmiş Ferritik Sfero Dökme Demirler, Mühendishane.Org./. (2016) 36. <https://muhendishane.org/>.
- [23] R.C. Reed, The Superalloys: Fundamentals and Applications, Cambridge University Press., Cambridge, 2006. <https://doi.org/10.1017/S0001924000087509>.
- [24] D.A. Porter, K.E. Easterling, M.Y. Sherif, Phase transformations in metals and alloys, Third Edit, CRC Press., 2009. <http://www.crcpress.com>.
- [25] G.E. Totten, D.S. MacKenzie, Handbook of Aluminum: Physical Metallurgy and Processes, CRC Press., United States of America, 2003.

- [26] A.J. Ardell, Precipitation Hardening, Metallurgical Transactions A. 16 (1985) 2131–2165. https://www.researchgate.net/profile/Alan-Ardell/publication/226071479_Precipitation_Hardening/links/0f3175386a6c19fe6d000000/Precipitation-Hardening.pdf.
- [27] J.R. David, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 2001. <https://doi.org/10.1361/autb2001p351>.
- [28] M. Dilmeç, M. Tınkır, H. Arıkan, Al 2024 Alaşımının Çökeltme Sertleşmesi İşlemi Koşullarının Şekillendirilebilirliğe Etkisinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 30 (2015) 231–248. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242796>.
- [29] J.W. Martin, Precipitation Hardening: Theory and Applications, Second Edi, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2012. books.google.com.
- [30] S.M. Wolf, Properties and applications of dispersion-strengthened metals, JOM. 19 (1967) 22–28. <https://doi.org/10.1007/bf03378581>.
- [31] M. Taneike, F. Abe, K. Sawada, Creep-strengthening of steel at high temperatures using nano-sized carbonitride dispersions, Nature. 424 (2003) 6. <https://doi.org/10.1038/nature01740>.
- [32] Z. Bingsheng, Q. Jinxi, X. Kuangdi, Dispersion-Strengthened Alloys Made by Powder Metallurgy, Springer, Singapore, 2024. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0740-1_1451-1.
- [33] A. Çetin, Temel Malzeme Bilgisi: Metal, Seramik ve Polimerlerin Yapısal Özellikleri, Muhendishane.Org. (t.y.) 88. <https://muhendishane.org/>.
- [34] Z. Nishiyama, Materials Science Series; Martensitic Transformation, First Edit, Academic Press, London, 1978.
- [35] M. Meyers, K. Chawla, Mechanical Behavior of Materials, Second Edi, Cambridge University press, Cambridge, 2009. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511810947>.
- [36] H.K.D.H. Bhadeshia, R.W.K. Honeycombe, Steels: Microstructure and Properties, Fourth Edi, Butterworth-Heinemann, London, 2017.
- [37] A. Aran, Malzeme Bilgisi, (2008) 98. <https://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/mal201.pdf>.
- [38] Y. Kanca, Faz Dönüşümleri, (n.d.) 5. yusufkanca@hititedutr211220180X7J9SOV.pdf.
- [39] G.S. Was, Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys, Springer, Berlin Heidelberg, 2007. <https://books.google.com>.
- [40] S.J. Zinkle, G.S. Was, Materials challenges in nuclear energy, Acta Materialia. 61 (2013) 735–758. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.004>.
- [41] R. Klueh, D. Harries, High-Chromium Ferritic and Martensitic Steels for Nuclear Applications, ASTM International, 2001. <https://doi.org/10.1520/mono3-eb>.
- [42] E.S. Kayalı, C. Ensari, Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, Ofset Atölyesi, İstanbul, 1986.
- [43] S.P. Chiew, M.S. Zhao, C.K. Lee, Mechanical properties of heat-treated

- high strength steel under fire/post-fire conditions, *Journal of Constructional Steel Research*. 98 (2014) 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.02.003>.
- [44] T. Karahan, H. Ertek Emre, M. Tümer, R. Kaçar, Strengthening of AISI 2205 duplex stainless steel by strain ageing, *Materials and Design*. 55 (2014) 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.065>.
- [45] O. Altuntaş, E. Özer, A. Güral, Sade Karbonlu Toz MetalBİÇeliğin Çekme DayanımınaStatik Deformasyon YaşlanışleminiEtkilerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*. 8 (2020) 671–680. <https://doi.org/10.29109/gujsc.726794>.
- [46] S. Gündüz, Static strain ageing behaviour of dual phase steels, *Materials Science and Engineering: A*. 486 (2008) 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.08.056>.
- [47] S.H. Lee, J.Y. Choi, W.J. Nam, Hardening behavior of a 304 stainless steel containing deformation-induced martensite during static strain aging, *Materials Transactions*. 50 (2009) 926–929. <https://doi.org/10.2320/matertrans.MRP2008416>.
- [48] S. Büyükdogan, Yaşlandırılan Al-Mg-Si Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Karabük Üniversitesi*, 2011. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- [49] Ş. Okumuş, Düşük Karbonlu Mikroalaşımli Çeliklerde Soğuma ve Deformasyon Yaşlanması'nın Mekanik Özelliklere Etkisi, *Karabük Üniversitesi*, 2013. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.

Bölüm 2

Piezoelektrik Nanogeneratörlerin Kullanım Alanları, Avantajları ve Geleceği

Burak TAŞ¹, Cem GÖK², Özge TÜZÜN ÖZMEN³

1. Giriş

21. yy'dan itibaren dünyada teknolojik ilerlemelerin hız kazanmasının neticesinde, yaşam standartlarının kalitesi artmış, bunun sonucu olarak da nüfus artışı ivme kazanmıştır. Dünya nüfusunun artması, arz-talep dengesinin çıtasını yukarı doğru çekerek sanayileşmenin artmasına, dolayısıyla da ciddi enerji ihtiyacına yol açmıştır. Özellikle son yıllarda enerji, devletlerin elinde bir güç unsuru haline gelmiş ve ülkeler arasında tehdit aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Enerjinin çok önemli bir faktör haline gelmesine paralel olarak kömür ve petrol sonlu kaynakların da tükenmeye başlamasıyla birlikte, çevremizde bol miktarda bulunan ve sonsuz kaynağa sahip yenilenebilir enerji kaynakları cezbedici hale gelmiştir. Bu kaynakların yanısıra, çok düşük seviyedeki($\mu\text{W}/\text{mW}$ düzeyinde) enerji ihtiyaçlarını karşılamak için de alternatif çözüm yolları üzerine çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

Tablo 1. Farklı enerji toplama teknolojilerinin karşılaştırılması [1].

Enerji Türü	Fotovoltaik	Termo-elektrik	Elektro-manyetik	Piezoelektrik	Triboelektrik
Enerji kaynağı	Işık	Isı	Elektro-manyetik alan	Basınç	Sürtünme
Gerilim	0.5-0.9V	0.1-1.0V	0.1-10V	1-100V	3-1500V
Akım	100-500uA	5-30uA	-	0.01-10uA	10-2000uA
Güç yoğunluğu	5-30mW/cm ²	0.01-3mW/cm ²	-	0.001-30mW/cm ²	0.1-100mW/cm ²

¹ Araştırma Görevlisi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 0000-0002-9928-5004

² Profesör Doktor, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-8949-8129

³ Profesör Doktor, İzmir Bakırçay Üniversitesi, Temel Bilimler Bölümü, 0000-0002-5204-3737

Verim	0.5-45	0.1-25	5.0-90.0	0.01-21	10.0-85.0
Avantajlar	Yüksek güç çıkışı. Devamlı güç çıkışı	Kolay ölçek küçültme. Hareketli bileşen yok.	Yüksek dönüşüm verimliliği. Düşük voltajda büyük akım	Uyaranlara karşı yüksek hassasiyet. Kolay entegrasyon. Kolay minyatürleştirme	Yüksek güç çıkışı. Yüksek dönüşüm verimliliği. Maddi kısıtlama yok. Uygun maliyetli.
Dez-avantajlar	Işık mevcut olması gereklidir. Organik güneş hücreleri için düşün dönüşüm verimliliği.	Yüksek sıcaklık farkı gerekli. Düşük dönüşüm verimliliği. Düşük çıkış.	Ağır yük. Kısa mesafeli güç iletimi. Yapısal karmaşıklık.	Yüksek empedans. Düşük dönüşüm verimliliği. Düşük çıkış. Darbe çıkışı.	Yüksek empedans. Yüksek sürtünme hasarı. Darbe çıkışı.

Enerjinin toplum ya da bireysel yaşantıda kullanımı MW seviyelerinden μW 'lara kadar çeşitlilik göstermektedir. Elde edilen enerji ile son kullanıcının ihtiyaç duyduğu enerji seviyesi arasındaki fark, genel olarak karşılaşılan problemlerdendir. Bu durumun çözümü olarak, enerji seviyeleri arasındaki geçişleri kolaylaştırmak için konverterler gibi çeşitli dönüştürücü devre elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır [2-3]. Ancak yapılan araştırmalar, devre elemanlarının çok olmasının karmaşıklığı ve maliyeti artırdığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için sensör vb. cihazların ihtiyaç duyduğu çok düşük seviyedeki elektrik enerjinin doğrudan elde edilmesi ve bu cihazların daha kararlı bir şekilde çalışması amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir [4].

Nano boyuta indirgenen malzemelerin yapısal özelliklerinin değişebildiği bilgisi sayesinde, üzerine basınç uygulandığında elektrik üreten malzemelerin varlığı keşfedilmiştir. Bu özellik **piezoelektriklik** olarak adlandırılmıştır. Piezoelektrik malzemelerin yapısını ve biyolojik bozunma sürecini anlamak için, özellikle doğanın büyük ve öngörülemeyen yapısı göz önüne alındığında, fizyolojik ortam uygulamaları çok önemlidir. Düşük seviyeli elektriksel performans, biyomedikal implant uygulamalarında gürültü sinyali girişine, biyosensörlerde azalan hassasiyete, enerji toplayıcılarda yetersiz güç üretimine ve çeşitli tıbbi uygulamalarda optimal terapötik performansın altında olması gibi zorluklara neden olabilir. Bu malzemelerin elektromekanik bağlanma

kapasitesinin arttırılması, tıbbi tedavilerde pratik uygulanabilirliklerinin arttırılması için önemli bir ihtiyaçtır [5].

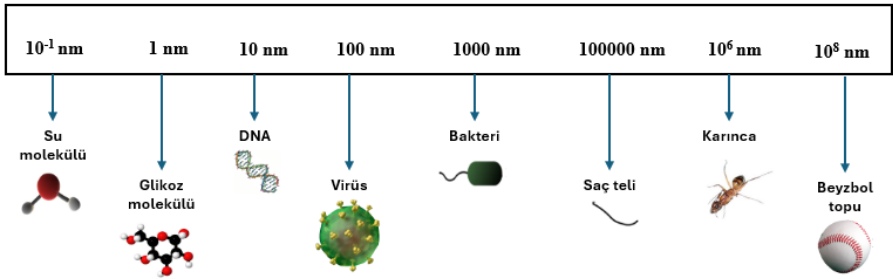
2006 yılında Wang ve arkadaşlarının çinko oksit(ZnO) nanotel dizilerine dayanan PENJ'leri keşfetmesiyle birlikte bilim dünyasında bu konuya olan ilgi yoğunlaştı [6]. Yarı iletken malzeme endüstrisinin ve buna paralel olarak mikroelektronik cihazların hızla gelişmesiyle birlikte özellikle sağlık alanında hastalığın teşhisinde ve takibinde kullanılan cihazlar açısından yeni bir yol açılmış oldu. Kendinden enerjili ve biyomalzemeli olmaları sayesinde kolaylıkla vücuda entegre edilebilen bu cihazlar,anatomik açıdan da uyumlu çalışabilme yeteneği sayesinde daha sık kullanılmaya başladılar [7].

2. Piezoelektrik Nanogeneratörler ve Çalışma Prensibi

2.1. Nanoteknoloji, Biyomalzeme Teknolojisi ve Nanogeneratörler

Nanoteknoloji, gelişen hayat koşullarına uyum sağlamak için cihazların nano boyutlara indirgenmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. “Nanoteknoloji” terimi ilk kez 1974’te Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Nano boyutlu özellikler, kimyasal ve gaz algılama sistemlerinde daha fazla etkili olmuş ve nanoteknolojinin ortaya çıkışından bu yana nano gözenekli ve nano yapılı malzemelerin uygulanmasına yol açmıştır. Nanoteknolojinin gelişmesi ve ilerlemesiyle fiberoptik sensör alanında [8] yeni bir dönem başlamış ve çeşitli kimyasalların tespiti başarıyla araştırılmıştır [9]. Şekil 1, nanoteknoloji dünyasındaki boyutları görsellerle ifade etmektedir.

Biyomateryal veya biyomalzeme, tıbbi sistemler için biyolojik sistemlerle etkileşime girecek şekilde tasarlanmış herhangi bir maddedir [10]. Biyomalzemelerin en önemli avantajı, canlının(insan veya hayvan) biyolojik yapısına entegre olup uyumluluk gösterebilmesidir [11-12]. Biyomateryaller mükemmel biyoyumluluğu nedeniyle biyoelektronik gibi kısa/uzun süreli, tek kullanımlık ve biyolojik olarak parçalanabilir uygulamalar için daha uygundur [13]. Biyoteknolojinin gelişmesiyle birlikte biyomalzeme sınıfında yer alan piezoelektrik malzemeler, enerji elde etmek için basit ve çevre dostu bir yöntem olarak karşımıza çıktı [14-15].

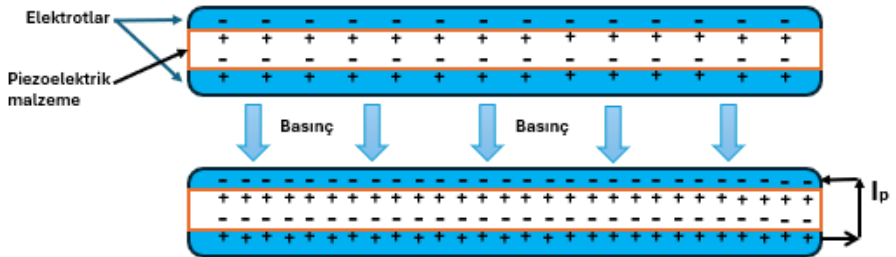


Şekil 1. Nanoteknoloji dünyasında boyutun görsellerle ifadesi [16].

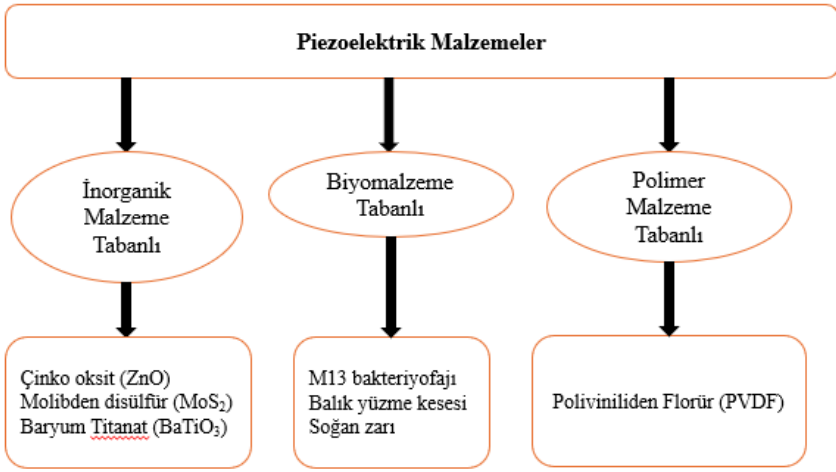
Nanojeneratörler, mekanik enerjiyi nano seviyede elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olduğundan dünyanın en küçük jeneratörleridir. Yüksek çıkış performansına sahip olan NJ teknolojisinin bir diğer öne çıkan özelliği, esnek ve gerilebilir elektroniklere uygulanabilen basit ve çeşitli yapısal özellikleridir. Elektrik güç sistemlerinin algılanması ve takibinin [17] yanısıra esnek elektronikler, giyilebilir elektronikler, bükülebilir ekranlar ve biyoyumlu yapay deriler gibi pek çok alanda ümit verici uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmektedir [18].

2.2. Piezoelektrik Malzemeler

Piezoelektrik, basınçtan dolayı elektrik üretimi anlamına gelmektedir. Ayrıca **piezoelektriklik**, belirli malzemelerin mekanik kuvvete maruz kaldığında elektrik üretme ve bunun tersi olarak da onlara bir elektrik alanı uygulandığında deforme olma veya titreşme yönündeki doğal özelliğini ifade eder. Piezoelektriklik yoluyla üretilen elektrik enerjisini yakalama veya kullanma işlemine genellikle piezoelektrik enerji toplama/üretme adı verilir. İki tür piezoelektrik etki vardır. İlki doğrudan piezoelektrik etki. Bu etkide mekanik enerji(basınç) elektrik enerjisine dönüştürülür. İkincisi ise ters piezoelektrik etki. Bu etkide ise elektrik enerjisi mekanik enerjiye(örneğin titreşime) dönüştürülür. Şekil 2, piezoelektrik malzemenin kaplanması sonucunda çalışma prensibini göstermektedir.



Şekil 2. Piezoelektriğin çalışma prensibi.



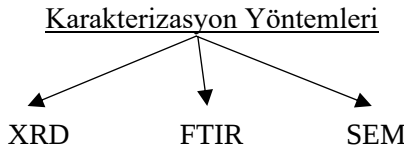
Şekil 3. Piezoelektrik malzemelerin sınıflandırılması.

Tek kristal piezoelektrik malzemeler yüksek mekanik kalite faktörüne sahiptir ancak maliyetleri çok yüksektir. Benzer şekilde, seramik piezoelektrik malzemeler yüksek piezoelektrik sabite ve bağlantı faktörüne sahiptir fakat doğal yapıları gereği kırılabilirler (kırılgan piezoelektrik malzemeler belirli uygulamalarda kullanıma uygun değildir). Polimer bazlı piezoelektrik malzemeler ise yüksek esnekliğe (seramik bazlı piezoelektrik malzemelerin aksine esnekliğin gerekli olduğu yerlerde esnek piezoelektrik malzemeler kullanılabilir) sahiptir. Ancak düşük piezoelektrik sabiti, birleştirme faktörü ve dielektrik sabitine sahiptirler. Seramik ve polimer bazlı piezoelektrik malzemelerdeki bu dezavantajları çözmek için kompozit bazlı piezoelektrik malzemeler popüler hale gelmiştir. Kompozit piezoelektrik malzemelerin en önemli problemi ise, bazı malzemelerin işlenmesinin zor olmasıdır [19].

Piezoelektrik malzemeler, yapılarındaki kimyasal özelliklere göre farklı akım ve gerilim çıkışları sağlamaktadırlar. Örneğin Fan ve arkadaşları, çinko-oksit (ZnO) nanotel bazlı PENJ'in tekrarlanan bir bükülme-serbest bırakma işlemi aracılığıyla, bir darbe alternatif akım sinyali üretmişlerdir. Üretilen açık devre gerilimi ve kısa devre akımı sırasıyla 20–50 mV ve 400–750 pA'dır. Gerçek zamanlı uygulamalar için, çok sayıda nanotelin tek bir esnek platformda paralel konfigürasyonda entegre edilmesi yoluyla PENJ'in çıkış gücünün artırılması önemlidir. Buna göre çoklu yanal nanotel dizisi tabanlı esnek bir nanojeneratör, her biri $\approx 20\,000$ yanal ZnO nanotel içeren 700 sıranın entegre edilmesiyle üretilmiştir. Cihazın tamamı yeterli esneklik sergilemiş ve nanoteller mekanik deformasyonu önleyecek kadar sağlam yapıda idi. Cihaz periyodik olarak deforme olduğundan maksimum 1,26 V gerilim ve maksimum 28,8 nA akım elde

edilmiştir. Bir diğer piezoelektrik malzeme kurşun zirkonat titanat (PZT), yüksek sıcaklık ve hassasiyet uygulamalarında yaygın olarak kullanılan kristalimsi bir perovskit yapıya sahip piezoelektrik bir seramik malzemedir. PZT, mekanîği elektriğe dönüştürmede yaygın şekilde kullanılan malzemelerdendir. İdeal özellikler olarak, yüksek dielektrik sabitleri ve piezoelektrik gerilimine sahip olmasından dolayı da sıklıkla kullanılan bir piezoelektrik seramik malzemedir. Ancak ince filmin kırılgan yapısı nedeniyle PZT malzemeleri esnek ve gerilebilir çalışma modlarına dayanamaz. Polivinilidenflorit - trifloroetilen [P(VDF-TrFE)] gibi polimer katkılı piezoelektrik malzemeler, esneklik, yeterli mekanik mukavemet, işlenme kolaylığı ve yüksek kimyasal direnç gibi avantajlı özelliklerinden dolayı piezoelektrik uygulamalarda yoğun olarak kullanılır. Polimerlerin kimyasal stabilitesi ve biyoyumluluğu, implante edilebilir algılama ve enerji toplama gibi özellikleri biyolojik sistemlerde uygulanmasını desteklemektedir. Dikkat çeken bir dezavantajı ise, iyi performans elde etmek için, mekanik germe işlemlerinin PVDF yapılarının polar β -fazının dipollerini hizalamasının gerekli olduğu elektriksel kutuplamaya ihtiyaç duymasıdır [18]. Koç ve arkadaşları, enerji elde etmek ve depolamak için kobalt ferrit (CoFe_2O_4) bazlı polivinil diflorür(PVDF)'ün esnek nanojeneratörler üzerindeki piezoelektrik ve manyetoelektrik etkilerini incelemiştir. İlk olarak PVDF ve CoFe_2O_4 nanopartiküllerinin (NP'ler:16 nm çapındadır) ağırlıkça %1, 3, 5, 7 ve 10 konsantrasyonunda birleştirilmesiyle kompozit fiberler hazırlanmıştır. Bu kompozit fiberlerden faydalanılarak esnek PVDF/ CoFe_2O_4 bazlı nanojeneratörler üretilmiş ve elde edilen nanojeneratörler XRD(X-ray diffraction: X-ışını toz kırınımı) , FTIR(Fourier transform infrared spectroscopy: Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi) ve SEM(Scanning electron microscopy: Taramalı elektron mikroskobu) cihazları kullanılarak karakterizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir [20].

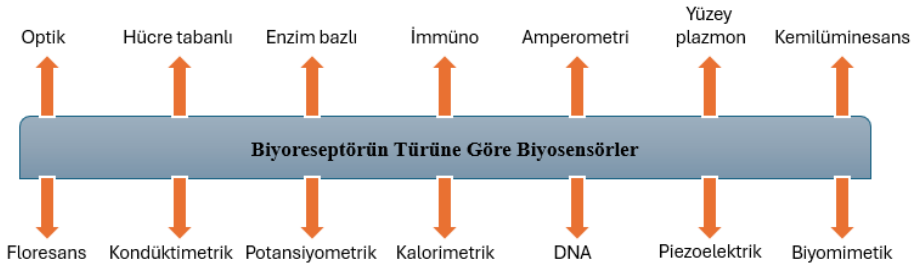
$\text{PVDF} + \text{CoFe}_2\text{O}_4 = \text{Kompozit fiberler}$



Şekil 4. Piezoelektrik malzemelerin karakterizasyon yöntemleri

Biyoyumlu piezoelektrik malzemeler, medikal ve tıbbi uygulamarda sıkça tercih edilmektedir. En önemlilerinden birisi ise biyosensörlerdir. Biyosensörler, biyolojik ve kimyasal olayların hassas ve hızlı bir şekilde tespit edilmesini

sağlayan teknolojik cihazlardır. Bu gelişmiş teknolojiyle birlikte biyosensörler günümüzde kendilerine tıp, gıda, çevre, biyoteknoloji gibi alanlarda yaygın kullanım fırsatı bulmaktadır. Biyosensörlerin kullanımı sayesinde tespit edilecek hedef moleküllerin tespit sürecinde kolaylık sağlanmaktadır [21]. Kalp, diyafram gibi vücutta sürekli olarak harekete sahip organların bu hareket kabiliyetleri, bir basınç kaynağı olmalarını sağlamıştır. Böylece, vücudun sağlıklı ve sürekli takibi için kullanılan biyosensörlerin piezoelektrik malzemeden elde edilmeleri, geleneksel sensörlere göre onları çok daha avantajlı konuma getirmiştir. Şekil 5'te, mühendislik alanında kullanılan biyosensörlerin kimyasal yapılarına göre çeşitleri listelenmiştir. Piezoelektrik biyosensörler gibi her birinin kendine özgü çalışma prensipleri bulunmaktadır [22].



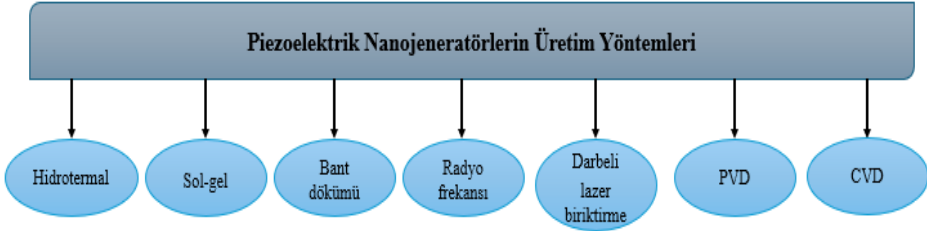
Şekil 5. Biyoreseptörlerin türlerine göre biyosensör çeşitleri [23].

Esnek piezoelektrik malzemelerin en çok ilgi çektiği alanlar elektronik, yumuşak robotik, yapay deriler veya kaslardır. Shen ve arkadaşları, kurşun zirkonat titanat-polidimetilsiloksanın (PZT/PDMS) piezoelektrik kompozitini örnek alarak, elektriksel ve mekanik tepkiyi mekanik ve zamansal olarak incelemek amacıyla faz alanı simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Dolgu maddelerinin iyi bağlantıya sahip olmasının bir yük aktarım yolu sağlayabildiği ve polarizasyon dipolleri üzerindeki dolgu morfolojisinin topolojik kısıtlamasını kırabildiği bulunmuştur. Daha sonra, farklı sıkıştırma, germe ve bükme modları altında genel piezoelektrik tepkiyi büyük ölçüde artırabilecek '3-3' kompozitlerdeki uyumsuzluk sorununu çözmek için bir arayüz tasarım stratejisi önermişlerdir. Bu çalışmada, bağlantı ve uyumsuzluk sorunlarını sinerjik olarak düzenleyerek esnek piezoelektrik kompozitler tasarlamak için bir yol sunmuşlar, bunun aynı zamanda elektromekanik bağlantı etkisi ile ilgili diğer aktüatörlerin veya sensörlerin optimizasyonuna da imkan tanınmasını öngörmüşlerdir[24].

Piezoelektrik malzemeler üzerine son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde çıkış akımı ve gerilimi artırılmış böylece nano boyutta jeneratör olma özelliklerinden dolayı birçok alanda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

2.3. Piezoelektrik Nanojeneratörler

Mekanik enerjiden elektriksel enerji dönüşümüne dayalı olarak çalışan PENJ'ler, giyilebilir elektronikler, kendi kendine çalışan sensörler ve enerji toplayıcılar gibi modern cihazlar üzerinde kapsamlı olarak çalışılmıştır [24]. Mekanik enerjinin toplanması için nanojeneratörlerdeki ilerleme, esas olarak iki temel teknoloji dahil olmak üzere gözden geçirilmektedir: esnek PENJ'ler ve esnek triboelektrik nanojeneratörler. Malzeme sınıflandırması yoluyla ZnO nanotelleri, kurşun zirkonat titanat (PZT), poli(viniliden florür) (PVDF), 2 boyutlu malzemeler ve kompozit malzemeleri temel alan PENJ'lerin çeşitli üretim durumları üzerine çalışılmıştır [25]. Şekil 6'da piezoelektrik malzemelerle elde edilen nanojeneratörlerin üretim yöntemleri sınıflandırılmıştır.



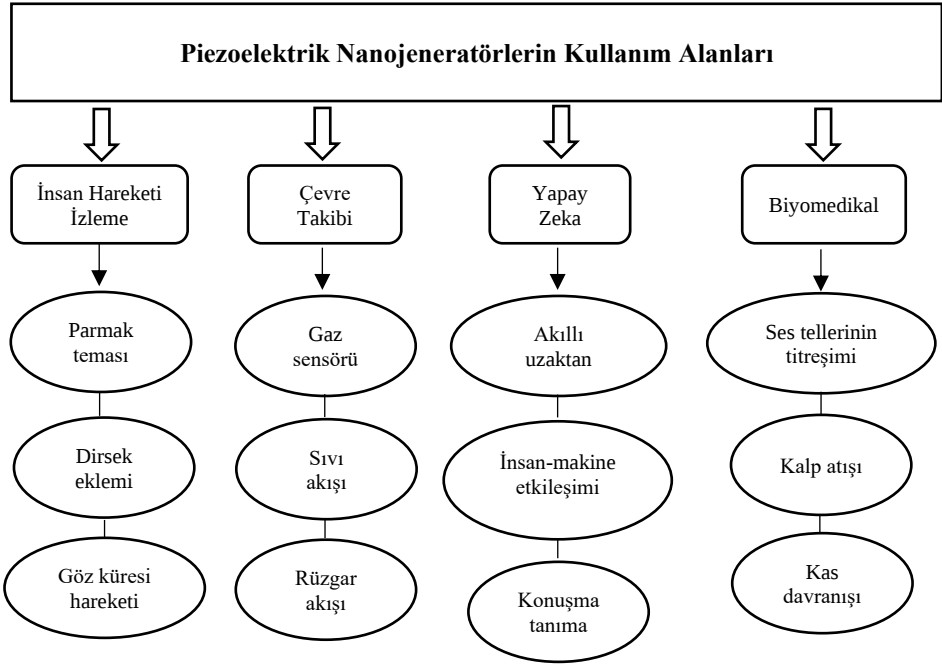
Şekil 6. PENJ'lerin üretim yöntemleri.

Yarıiletken malzemelerin kaplanmasında en yaygın olarak kullanılan metotlar kimyasal buhar birikimi(CVD), fiziksel buhar birikimi(PVD), elektroçürme teknikleri ve kuvars tüp fırınlarıdır. Bu metotların tercihindeki en temel kriterler, yüzeylere istenilen kalitede ve özellikte kaplamaların uygulanabilmesidir. Bu kalitenin geliştirilmesiyle birlikte kaplama yöntemlerinin kullanım alanı da genişlemektedir. Örneğin biyomedikal, elektronik, sağlık, hücre ve doku mühendisliği gibi birçok alanda kaplama yöntemlerinden faydalanılmaktadır [26]. PENJ'lerin üretiminde en yaygın şekilde PVD ve CVD yöntemleri kullanılmaktadır.

3. Piezoelektrik Nanojeneratörlerin Uygulama Alanları

PENJ'lerin keşfiyle birlikte küçük boyutlu ve taşınabilir eşyaların enerji ihtiyacını karşılama sorununa büyük bir çözüm getirilmiş oldu. Giyim amaçlı tekstil ürünleri, ayakkabılar gibi üzerlerinde sürekli basınç ortamı bulunabilen eşyalara nano boyutta piezoelektrik malzemeler emdirilerek çok düşük seviyede enerji üretimleri gerçekleştirildi. Bu üretilen enerji sayesinde μW seviyesindeki güçle çalışabilen cihazların enerji tedarik sorunu çözüme kavuşturulmuş oldu.

Şekil 7’de, birçok alana katkısı devam eden PENJ’lerin kullanım alanları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. PENJ’lerin kullanım alanları.

PENJ’lerden üretilen sensörlerin parmak, dirsek, göz gibi uzuvlara entegrasyonu sayesinde insan hareketleri takip edilebilmektedir. Elde edilen veriler kullanılarak toplum sağlığı açısından insanların günlük yaşamları, hareketlilik seviyeleri incelenmektedir. Ayrıca gaz, sıvı, rüzgar gibi akış özelliğine sahip maddelerin ölçümlerinde kullanılarak hem doğal afetleri engelleme konusunda hem de yenilenebilir enerji potansiyeli noktasında hızlı ve etkin kararlar almaya olanak sağlamaktadır. Son yıllarda hayatımızda önemli bir yer edinen yapay zeka uygulamalarına bakıldığında, akıllı uzaktan kumanda sistemlerinde, insan-makine etkileşiminde, konuşma tanıma ve taklidini gerçekleştirmede faydalanılmaktadır. Bu alanların dışında insan hayatının devamında en önemli teknolojik alan olan sağlık sektöründe hastalıkların tespiti amacıyla, ses tellerinin titreşimi, kalp atışının ölçümü, kas hareketlerinin davranışı gibi konularda yine PENJ biyosensörler tercih edilmektedir.

4. Sonuç

Akıllı elektronik cihazların hayatımıza girmesiyle birlikte, ihtiyaçların takibi ve tedariki kolaylaşmış böylece bu cihazlar daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Sık kullanımları neticesinde de enerjinin devamlılığı en önemli konulardan biri olmuş ve kendinden enerjili olma özelliği üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 2006 yılında piezoelektrik malzemelerin keşfedilmesiyle birlikte dikkatler bu konuya daha fazla yönelmiştir.

PENJ'lerin biyomedikal teknolojisi alanında sahip olduğu avantajların yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Vücudun doğası gereği gerçekleşen titreşim ve basıncı algılamaları, biyomedikal cihazlar içerisinde özellikle de biyosensörler tarafından hassas bir şekilde algılanma ve izlenmelerine olanak tanır. Bu basıncı veya titreşimi algılayanın en önemli avantajı ise bu etkiler sonucu enerji açığa çıkarmaları ve bu enerjinin toplanmasıdır (enerji hasadı). PENJ'lerin sahip olduğu yüksek biyo-uyumluluk ve yüksek çözünürlük özelliği, biyomedikal teknolojiler başta olmak üzere birçok alanda uygulanabilirlik kazanmalarına sebep olmuştur. Örneğin, ultrasonik görüntüleme cihazları, kalp pilleri, sensörler ve yapay organlar gibi birçok biyomedikal uygulama için kullanılabilirler. Kullanım alanlarını kısıtlayan sebeplerin başında ise düşük güç üretimi ve sınırlı biyo-uyumluluk gelmektedir. Bu iki problem, PENJ'lerin daha yüksek güç ihtiyacı ve vücut uyumluluğu gerektiren biyomedikal cihazlarda kullanılamamasına yol açmaktadır. Bunlardan farklı olarak diğer dezavantajları ise uzun süreli kullanımlarda mekanik aşınma ve dayanıklılık sorunları bulunmaktadır. Ayrıca üretim aşamalarının zorluğu ve üretim maliyetlerinin yüksek olması tercih edilme sebeplerini kısıtlayan faktörlerdendir.

Kendi kendine güç sağlayan çok işlevli sensörler, taşınabilir elektronik cihazlar ve ihtiyaç duyduğumuz birçok malzeme gelecek dönemlerde hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmaya devam edecektir. Bu cihazların halihazırdaki batarya kapasitesi ve batarya ömrünün kısa olması gibi problemlerden dolayı kendi enerjisini üretmesi ve batarya gibi ilave cihazlara ihtiyaç duymaması amaçlanmaktadır. Bunun çözülebilmesinde en etkin rolü PENJ'ler üstlenecektir. Bu yüzden PENJ'ler üzerinde iyileştirme çalışmaları aralıksız devam etmelidir. Örneğin, esnek yapıdaki PENJ'lerin enerji çıkış performansı ve enerji dönüşüm verimliliği artırılmalıdır. Ayrıca sistemlere entegrasyonu daha iyi hale getirilmelidir. Son olarak da piezoelektrik malzemelerin ve bu malzemelerle üretilen cihazların dayanıklılığı artırılarak kullanım ömrü uzatılmalıdır.

5. Kaynakça

- [1] Somkuwar, V. U., Pragma, A., & Kumar, B. (2020). Structurally engineered textile-based triboelectric nanogenerator for energy harvesting application. *Journal of Materials Science*, 55(12), 5177-5189.
- [2] El Hmamsy, Y., Ennawaoui, C., & Hajjaji, A. (2022). Optimized piezoelectric energy harvesting circuit using DC/DC converter. *Materials Today: Proceedings*, 66, 473-478.
- [3] Nadaud, K., Poulin-Vittrant, G., & Alquier, D. (2021). Influence of topology and diode characteristics of AC-DC converters for low power piezoelectric energy harvesting. *Sensors and Actuators A: Physical*, 330, 1129[4]
- [4] Mazunga, F., & Nechibvute, A. (2021). Ultra-low power techniques in energy harvesting wireless sensor networks: Recent advances and issues. *Scientific African*, 11, e00720.
- [5] Liu, T., Wang, Y., Hong, M., Venezuela, J., Shi, W., & Dargusch, M. (2023). Advances in biodegradable piezoelectrics for medical implants. *Nano Today*, 52, 101945.
- [6] Wang, Z. L., & Song, J. (2006). Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays. *Science*, 312(5771), 242-246.
- [7] Bettinger, C. J. (2015). Materials advances for next-generation ingestible electronic medical devices. *Trends in biotechnology*, 33(10), 575-585.
- [8] Pandurangan, P., Dinesh, R. A., MohanaSundaram, A., Samrat, A. V., Meenambika, S. S., Vedanarayanan, V., & Moovendhan, M. (2023). Integrating cutting-edge technologies: AI, IoT, blockchain and nanotechnology for enhanced diagnosis and treatment of colorectal cancer- A review. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 105197.
- [9] Vo-Dinh, T., Cullum, B. M., & Stokes, D. L. (2001). Nanosensors and biochips: frontiers in biomolecular diagnostics. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 74(1-3), 2-11.
- [10] Caldorera-Moore, M., & Peppas, N. A. (2009). Micro-and nanotechnologies for intelligent and responsive biomaterial-based medical systems. *Advanced drug delivery reviews*, 61(15), 1391-1401.
- [11] Wang, L., Xu, Z., Zhang, H., & Yao, C. (2023). A review on chitosan-based biomaterial as carrier in tissue engineering and medical applications. *European Polymer Journal*, 112059.
- [12] Ananth, K. P., & Jayram, N. D. (2023). A Comprehensive Review of 3D Printing Techniques for Biomaterial-Based Scaffold Fabrication in Bone Tissue Engineering. *Annals of 3D Printed Medicine*, 100141.

- [13] Li, J., Che, Z., Wan, X., Manshahi, F., Xu, J., & Chen, J. (2023). Biomaterials and bioelectronics for self-powered neurostimulation. *Biomaterials*, 122421.
- [14] Karmakar, D., Majumdar, K., Pal, M., Roy, P. K., & Machavarapu, S. (2022). Energy harvesting from pedestrian movement using piezoelectric material. *Materials Today: Proceedings*, 57, 391-397.
- [15] Najoua, F. A. N. G. A. C. H. I., Madiha, Y. E. S. S. A. R. I., & Abdelowahed, H. A. J. J. A. J. I. (2022). Design and optimization of dynamic weighing and energy harvesting system based on piezoelectric materials: Application to transport. *Materials Today: Proceedings*, 66, 428-436.
- [16] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comparison_of_nanomaterials_sizes.jpg
- [17] Deng, H., Xiao, S., Yang, A., Wu, H., Tang, J., Zhang, X., & Li, Y. (2023). Advances in nanogenerators for electrical power system state sensing and monitoring. *Nano Energy*, 108738.
- [18] Fan, F. R., Tang, W., & Wang, Z. L. (2016). Flexible nanogenerators for energy harvesting and self-powered electronics. *Advanced Materials*, 28(22), 4283-4305.
- [19] Bairagi, S., Shahadat, M., Mulvihill, D. M., & Ali, W. (2023). Mechanical energy harvesting and self-powered electronic applications of textile-based piezoelectric nanogenerators: A systematic review. *Nano Energy*, 108414.
- [20] Koç, M., Dönmez, Ç. E. D., Paralı, L., Sarı, A., & Aktürk, S. (2022). Piezoelectric and magnetoelectric evaluations on PVDF/CoFe₂O₄ based flexible nanogenerators for energy harvesting applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(10), 8048-8064.
- [21] Uz, Ö., Şentürk, Y., Koçal, Ö.F., Beltekin, B., Bastıkoğlu, F., Özmen, Ö.T.(2023). Biyosensörler: Sınıflandırma, Temel Bilgiler ve Karakterizasyon. *Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar*, İmperial Yayınevi, 229-247.
- [22] Kaur, H., Bhosale, A., & Shrivastav, S. (2018). Biosensors: classification, fundamental characterization and new trends: a review. *Int J Health Sci Res*, 8(6), 315-333.
- [23] Taş, B., Balta Z., Kaya, F., Çimen, M.Ş., Erkan, H., Çam, M., Özmen, Ö.T.(2023). Biyosensörlerin Sınıflandırılması, Karakterizasyon Yöntemi, Uygulama Alanları ve Geleceği. *Mühendislik Alanında Akademik Analiz ve Tartışmalar*, İmperial Yayınevi, 249-267.
- [24] Shen, Z. H., Tang, T. X., Wang, J., Zhou, M. J., Liu, H. X., Chen, L. Q., & Nan, C. W. (2023). Computation-guided design of flexible piezoelectric

composites by optimizing charge-stress transmission. Nano Energy, 117, 108933.

- [25] He, X., Zheng, J., Yang, T., Ou, D., Bowen, C. R., Shi, S., & Yang, W. (2023). High-performance piezoelectric nanogenerators based on Cs₂Ag_{0.3}Na_{0.7}InCl₆ double perovskites with high polarity induced by Zr/Te codoping. Nano Energy, 115, 108741.
- [26] Taş, B., Uz, Ö., Özmen, Ö.T. (2023). Kaplama Yöntemleri ve Uygulama Alanları. Mühendislik Alanında Uluslararası Çalışmalar. Serüven Yayınevi, 257-273.

Bölüm 3

Akıllı Ev Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları

Mete ÖZBALTAN¹

Özet

Akıllı ev sistemleri, konutlarda yaşam kalitesini ve enerji verimliliğini artırmak üzere geliştirilmiş bir ağ üzerinde bulunan otomasyon sistemleridir. Son yıllarda bu sistemler oldukça yaygınlaşmış ve kullanımı giderek artmaktadır. Klasik yöntemler sensör verileri kullanılarak donanımsal işlemler ile insan davranışlarının karmaşık doğasını karşılayacak şekilde çözümler üretememektedir. Bu sebeplerle yapay zeka, özellikle makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları, veri setlerindeki karmaşık ilişkileri hızlı bir şekilde öğrenerek bu sistemlerin kullanım ihtiyaçlarını karşılama yönünde güvenilir karar verme yetisine sahiptir ve bu alanda kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerinin uyarlanabilirliği ve otomasyonundaki zorlukları incelemektedir. Ayrıca, bu çalışma yapılan kapsamlı literatür taraması ve analizi sonucundaki raporlar detaylandırılarak bu yönde çalışma yapacak araştırmacılar için önemli bir referans kaynağı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ev Sistemleri, Yapay Sinir Ağları, Enerji Verimliliği, Otomasyon

Giriş

Akıllı ev sistemleri, bir konutta yaşam kalitesini artırmak için teknolojik olarak sensörleri bir ağ üzerinde tanımlayarak, tanımlanan hizmetleri enerji verimliliği sağlayarak otomasyon yoluyla yerine getiren sistemlerdir.

Akıllı ev sistemleri, kullanıcılar tarafından son 10 yılda oldukça ilgi görmüş ve bu ilgi giderek artmaktadır. Bu sebeple, hem enerji verimliliğinin artırılması gereği hem de daha akıllı ev sistemlerinin otomasyonu, araştırmacıların ilgi alanına girmiş ve bu alanda birçok çalışma yapılmıştır.

¹ Doç. Dr.; İzmir Bakırçay Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü. mete.ozbaltan@bakircay.edu.tr ORCID No: 0000-0002-3215-6363

Akıllı ev, tanımsal olarak çevrenin değişen durumlarına göre tahminde bulunabilme ve karar verebilme yeteneğine atfedilir. Klasik yöntemlerde araştırmalar ve uygulamalar daha çok ağ ve sensörler aracılığıyla donanım temelli çözümler sunmaya çalışmıştır. Ancak yapay zeka tabanlı modellerin gelişmesiyle, birçok alanda hızlı öğrenim ve yüksek hassasiyetle sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır. Günümüzde, akıllı ev sistemlerinde yapay zeka teknolojilerinin kullanımı ve bu alanda yapılan çalışmalar artmaktadır.

Günümüzde, akıllı ev sistemlerinde yapay zeka, insan benzeri düşünme, öğrenme ve karar verme süreçlerini taklit eden önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, kullanıcıların ihtiyaçlarına ve davranışlarına daha iyi uyum sağlamak için yapay zeka tekniklerinden yararlanmaktadır. Makine öğrenmesi, yapay zekanın bir alt kümesi olup, belirli veri setlerinden öğrenerek performansını geliştiren algoritmalar içerir. Yapay sinir ağları ise makine öğrenmesinin bir dalıdır ve insan beynindeki nöronlardan esinlenerek, veri setindeki karmaşık ilişkileri öğrenmek için katmanlı yapılar kullanır. Bu yapılar, akıllı ev sistemlerinin enerji verimliliğini artırmak ve kullanıcı davranışlarını daha iyi anlamak için kritik öneme sahiptir.

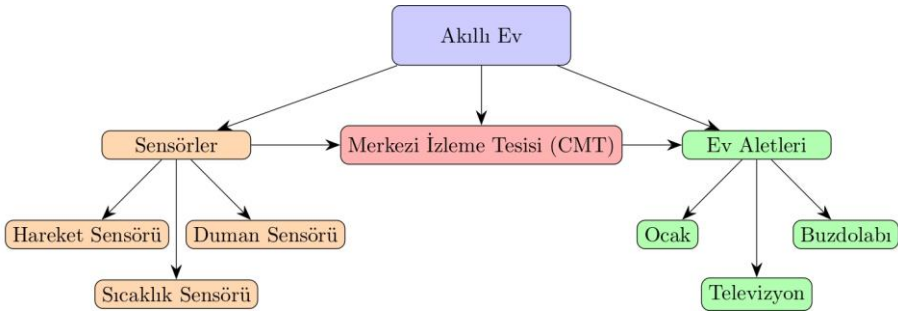
Akıllı ev sistemleri genellikle enerji israfını azaltmaya yönelik otomasyon uygulamalarıyla yaşam standartlarını artırmayı hedeflese de, her zaman kullanıcı davranış kalıplarına uyum sağlayamazlar. Bu çalışmanın konusu, yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerinin uyarlanabilirliği ve akıllı ev sistemlerinin otomasyonunda bulunan problemleri ele alarak kapsamlı bir literatür taramasıyla birlikte yapılan çalışmaların analizini sunmak; avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır. Bu çalışma, akıllı ev sistemlerinin gelişimi için önemli katkılar sağlamayı ve bu alanda yapılacak çalışmalara araştırmacıları daha iyi bir şekilde yönlendirmeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2'de akıllı ev sistemlerinin genel konsepti ve tipik senaryolar tanıtılacaktır. Bölüm 3'te yapay sinir ağlarına dair temel kavramlar ele alınmaktadır. Bölüm 4'te ise akıllı ev sistemlerinde yapay sinir ağlarının uygulamaları sunulmaktadır. Bölüm 5, bu çalışmada yer alan tüm çalışmaların detaylı bir analizini araştırmacılara sunmaktadır. Son olarak, Bölüm 6'da bu çalışmanın sonuçları üzerinde durulmuştur.

Akıllı Ev Sistemleri

Akıllı ev sistemlerinden beklenen kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamak için farklı birçok disiplinden araştırmacılar ve uygulayıcılar tarafından iş birliği gerekmektedir (Begg ve Hassan, 2006). Bu çalışma, akıllı ev sistemlerinin daha güvenli, daha enerji verimli ve kullanıcı davranışlarını daha iyi anlayabilen

sistemleri, özellikle yapay sinir ağı uygulamalarını ele almaktadır. Zeki sistemlerin bağımsız olarak çalışabilmesi, hataların bulunabilmesi ve güvenliğin sağlanması, bazı öngörülemeyen davranışların tespiti ile enerji verimli bir şekilde çalışabilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, hem ileriye yönelik yapılacak araştırmalara yardımcı olabilmek hem de ticari olarak uygulama geliştiricilerin çalışmalarını daha kaliteli bir şekilde yapmalarına odaklanılmıştır. Akıllı ev sistemleri genel olarak Şekil 1'deki gibi modellenebilir. Akıllı ev sistemleri, sensörler, merkezi izleme birimi ve ev aletleri olarak üç grupta toplanabilir. Ancak sistem içerisinde kullanılan sensörlerin daha bütünlüklü, sofistike ve daha anlamlı bir tanı sistemi oluşturabilmesi ve kullanıcı davranışlarını daha iyi taklit edebilmesi için yapay zeka ile daha fazla entegrasyona ihtiyaç duymaktadır. Bu tarz bir yaklaşım, akıllı ev sistemlerini daha zeki sistemler haline getirebilir. Bu alandaki çalışmalar devam etmektedir, ancak henüz olgunluk seviyesine ulaşmamıştır. Gelecekte yapılacak yapay zeka çalışmaları ile akıllı ev sistemlerinin daha zeki olma potansiyeli ortaya çıkarılabilir.



Şekil 1: Akıllı Ev Modeli

Örnek bir akıllı ev sisteminde, merkezi izleme tesisi, sensörler ve çeşitli ev aletleri bulunmaktadır. Bu sensörler arasında konum sensörleri, mutfak, oturma odası ve tuvalet gibi alanlarda hareketi tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Duman sensörleri, ocak, buzdolabı ve klima gibi aletlerin güvenliğini sağlamak için yer alırken; sıcaklık sensörleri, ortamın sıcaklığını ölçmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, kontrol ve izleme yeteneklerine sahip çeşitli ev aletleri, örneğin çamaşır makinesi, buzdolabı ve klima, sistemin bir parçası olarak işlev görmektedir. Kontrol sistemi olarak otomatik merkezi veri işleme ve izleme birimi, sensör verileri ile entegre çalışarak ev aletlerini uzaktan açıp kapatma ve kontrol etme yeteneğine sahiptir. Bunun yanı sıra, bu sisteme her zaman yeni sensörler ve ev aletleri eklenebilir; böylece kullanıcı ihtiyaçlarına

göre davranış modelleri oluşturulabilir. Bu yaklaşım, akıllı ev sisteminin esnekliğini ve kullanıcı odaklılığını artırmaktadır.

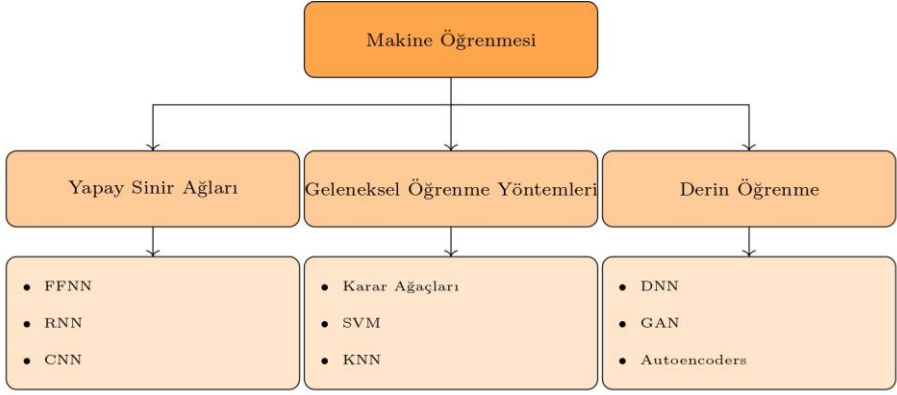
Akıllı bir sistem kurulduğunda, hem enerji verimliliğinin artırılması hem yaşam standartlarının yükseltilmesi hem de potansiyel tehlikelerin azaltılması oldukça önemlidir. Başlangıç durumunda sistem içindeki meydana gelen olaylar sonucunda sensör verileriyle elde edilen bilgiler, ev durumunu yeni bir duruma getirerek sistemde bulunan cihazları aktif veya pasif duruma getirebilir. Örneğin, sıcaklığın artmasıyla klimanın soğutma işlevinin devreye girmesi veya duman sensörünün çalışmasıyla alarmların aktive edilmesi gibi durumlar söz konusu olabilir. Pratikte anlık verilen tepkiler, sonsuz bir döngü içerisinde çalışıyor gibi görünse de, kullanıcı davranışları genellikle geçmiş verileri değerlendirerek gelecekteki durumları tahmin edip karar verme süreciyle cihazlar üzerinde işlem yapmaktadır. Olaylar dizisine bakıldığında, her bir olay diğer bir olayı tetiklemektedir. Bu durum, aslında klasik yöntemlerle geliştirilen yazılımlar tarafından yeterince karşılanamamaktadır.

Bir senaryoda, bir kişinin bir odadan diğerine geçip bir eylemde bulunması incelendiğinde, bazı sorunlarla karşılaşılması muhtemeldir. Burada zamanlamalar oldukça önem taşımaktadır; yani bir kişinin odada ne kadar süre kaldığı veya o yapılan yeni eylemden önceki eylemin ne kadar sürdüğü gibi durumlar kritik öneme sahiptir. Bu tür faktörler göz önünde bulundurularak modelleme ve işleme sürecinde dikkate alındığında, daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir.

Yapay zeka yönetimleri, akıllı ev sistemlerinin geliştirilmesinde oldukça önemli bir rol oynayabilir. Mekansal-zamansal olaylarla ilişki kurma, geçmiş verileri kullanarak ve gelecekteki sonuçları tahmin edebilme gibi durumlarda yardımcı olabilir. Neden-sonuç akıl yürütme, potansiyel sorunları tahmin ederken planlamaya olanak tanır. Bu uygulamalar, akıllı evlerin daha etkili ve güvenli bir şekilde çalışmasına olanak sağlar.

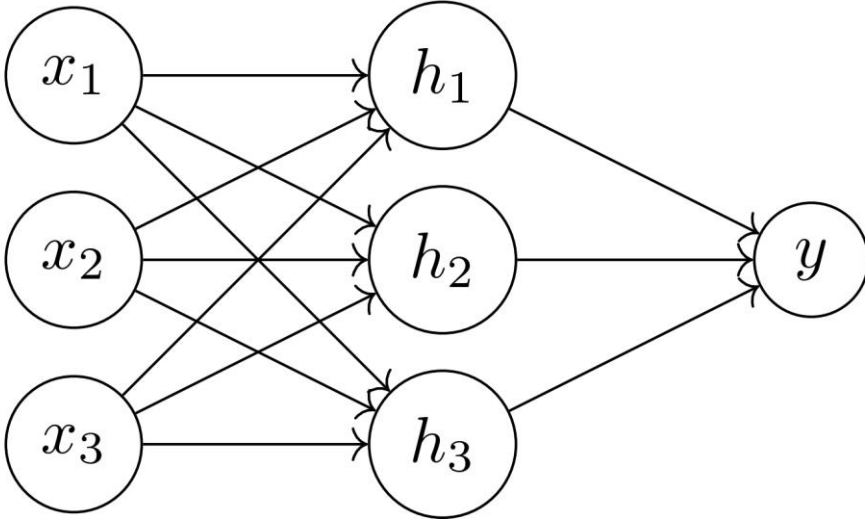
Yapay Sinir Ağları: Temel Kavramlar

Yapay zeka, insan benzeri düşünme, öğrenme ve karar verme yapısını taklit eden bir alandır. Makine öğrenmesi, yapay zekanın verilen veri setlerinden öğrenerek performansını artıran algoritmalar kullanan bir alt kümesidir. Yapay sinir ağları ise makine öğrenmesinin bir alt dalıdır ve insan beynindeki nöronlardan ilham alarak veri setindeki veriler arasındaki karmaşık ilişkileri öğrenmek için katmanlı yapılardan faydalanır. Şekil 2'de makine öğrenmesinin alt dalları gösterilmiştir. Şekil yapay sinir ağları, geleneksel öğrenme yöntemleri ve derin öğrenme ile birlikte, makine öğrenmesinin ana bileşenlerini ve bu bileşenlerin alt kategorilerini göstermektedir.



Şekil 2: Makine Öğrenmesi ve Alt Dalları

Yapay sinir ağları, matematik, mühendislik, tıp, ekonomi, meteoroloji, psikoloji ve nöroloji gibi birçok alanda güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır. Örüntü tanıma, görüntü ve ses işleme gibi tıbbi, askeri ve mühendislik alanlarında, hava durumu ve finansal tahminler konusunda oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu gibi uygulamaları ile son yıllarda yapay sinir ağlarının kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Yapay sinir ağları bazı alanlarda başarılı bir şekilde çalışırken, bazı alanlarda eksik kalmaktadır. Yapay sinir ağları, kesin doğruluk gerektiren aritmetik ve mantık işlemlerinde iyi bir şekilde çalışmazken, insanların sezgisel olarak karar verdiği karmaşık ve belirsiz problemlerin çözümünde, yani eksik veri setleri olan konularda oldukça başarılıdırlar. Yapay sinir ağları, fonksiyon yaklaşımı, desen birleştirme ve desen tanıma, ilişkisel hafızalar ve yeni anlamlı desenlerin üretilmesi gibi birçok uygulama alanında etkili bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3: Genel Yapay Sinir Ağı Modeli

Biyolojik olarak beyinde sinapslar aracılığıyla aksonlardan elektro-kimyasal olarak bilgi akışı gerçekleşir. Her nöron, binlerce diğer nörona bağlıdır ve sinapslar sayesinde bilgi akışı bir nörondan diğerine iletilir. Yapay sinir ağları, beyinde bulunan nöronlar gibi birbirine bağlı yapay bir bilgi ağından oluşmaktadır. Bu sistemde giriş katmanından veri girişi yapıldıktan sonra, uygun işlemlerle katmanlı olarak yapay nöronlardan ilerler ve en son çıkış katmanından çıktı elde edilir. Sinapslarda bilgi akışı sırasında birikim meydana gelir; yapay sinir ağlarında bu durum ağırlıklar olarak modellenir. Bu ağırlıklar, öğrenme sırasında belirlenen kurallar çerçevesinde sürekli olarak güncellenir. Şekil 3'te genel bir yapay sinir ağı modeli gösterilmektedir. Girdi katmanında üç nöron (x_1 , x_2 , x_3) yer alırken, bu nöronlar gizli katmanda bulunan üç nöron (h_1 , h_2 , h_3) ile bağlantılıdır. Gizli katmandan gelen bilgiler, çıktı katmanındaki tek nörona (y) iletilir. Girdi nöronları, modelin dışarıdan aldığı verileri temsil ederken, gizli nöronlar bu verileri işleyerek çıktı nöronuna sonuçları sunar. Bu yapı, yapay sinir ağlarının temel çalışma prensibini yansıtarak, verilerin nasıl işlendiğini ve kararların nasıl alındığını göstermektedir.

Yapay bir sinir ağı, verilen bilgiyi insan beynindeki işleyişe benzer bir şekilde depolayıp kullanma yeteneğine sahip, paralel dağıtılmış bir işlemciye benzer ve işlenen bilgileri sinaptik ağırlıklar aracılığıyla depolar. Yapay sinir ağı modelleri, mühendislik analizi ve tahminleri için insan beynindeki öğrenme süreçlerini taklit eden güçlü bir alternatif yöntem sunmaktadır. Geçmiş verileri inceleyerek, kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen veri girişi veya değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri yorumlayarak girdiye karşılık anlamlı bir çıkış

üreten bir "kara kutu" fonksiyonu olarak çalışır. Yapay sinir ağı modelleri, karmaşık sistemlerde önemli veriler ile önemsiz verileri ayırarak hızlı bir şekilde anlamlı verilere odaklanmayı mümkün kılar.

Genel olarak bir yapay sinir ağı modeli, Şekil 3'te gösterildiği gibi bir girdi katmanı, birkaç gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Her katman, önceki katmanlardaki nöronlara sinaptik ağırlıklar aracılığıyla bağlıdır ve bilgi bu katmanlar arasında ilerlemektedir. Eğitim süreci, belirlenmiş kurallar çerçevesinde bu ağırlıkların güncellenmesi sürecidir ve bu güncellemeler sonucunda çıkış, anlamlı bir şekilde istenildiği gibi üretilir. Her katmandaki nöron, gelen bağlantılardan ağırlıklı aktivasyonu alır; bu değerler toplanıp aktivasyon fonksiyonunda işleme tabi tutularak o nöron için yeni bir aktivasyon elde edilir. Daha sonra bu aktivasyon değerleri, her çıkış bağlantısında belirli ağırlıklarla çarpılarak bir sonraki katmanda bulunan nörona aktarılır.

Verilen eğitim seti, yapay sinir ağını eğitmek için kullanılan girdi ve çıktı çiftlerinden oluşur ve ağırlık değerlerinin güncellenmesiyle öğrenim süreci gerçekleşir. Yapay sinir ağı, girdi verilerini katmanlar arasında ileterek çıktılar üretir. İlk başta verilen çıktı ile üretilen çıktı arasında bir fark (hata) varsa, ağırlıklar değiştirilerek daha doğru sonuçlar elde edilmesi sağlanır. Bu süreç, kabul edilen hata toleransına kadar devam eder ve istenilen hedefe ulaşıldığında ağırlıklar sabitlenir. Artık yapay sinir ağı, öğrenme sürecini tamamlayarak yeni veriler için karar verme işlemleri için kullanılabilir.

Yapay sinir ağlarının alt kümeleri arasında üç tür öne çıkmaktadır: ileri beslemeli sinir ağları (FFNN), tekrarlı sinir ağları (RNN) ve evrişimli sinir ağları (CNN). FFNN, verilerin tek yönlü olarak geçtiği katmanlı yapılarla çalışır ve genellikle basit sınıflandırma görevlerinde kullanılır. RNN, zaman dizisi verilerini işleyebilme yeteneği sayesinde ardışık verilerle çalışırken, CNN, görüntü ve video tanıma gibi alanlarda öne çıkan özellik çıkarımı için evrişim katmanları kullanır. Bu alt sinir ağı modellerinin farklı alanlarda güçlü ve zayıf özellikleri bulunmaktadır. Öte yandan, bu alt kümelerde bulunan modellerin çeşitli varyantları veya hibritleri, spesifik alanlarda performansı çok daha yüksek ve çok daha doğru sonuçlar vermektedir.

Akıllı Ev Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulamaları

(Bajpai vd., 2024) akıllı ev IoT cihazlarının güvenliğini artırmak için bir FFNN modeli geliştirmektedir. Model, kesirli stokastik gradyan inişi optimizasyonu kullanarak %99,51 doğruluk sağlamış, geleneksel yöntemleri aşmıştır. Yüksek kesinlik ve düşük yanlış pozitif oranıyla anormal davranışları etkili bir şekilde tespit etmektedir. Sonuçlar, IoT güvenliği ve kesirli kalkülüsün makine öğrenimindeki potansiyeli için önemli bulgular sunmaktadır.

(Maduranga ve Abeysekera, 2022) BLE ve FFNN kullanarak iç mekan konumlandırma uygulamalarının uygulanabilirliğini incelemektedir. On üç farklı BLE ibeacon düğümünden alınan sinyal gücü verileri ile eğitilen FFNN, %86 doğrulukla doğru alanı sınıflandırabilmiştir. Sonuçlar, FFNN'nin konum tabanlı IoT uygulamalarında etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. (Franco vd., 2021) akıllı evlerde enerji verimliliğini artırmak için yeni bir cihaz yük izleme yöntemi önermektedir. Cihaz bazlı izleme (ILM) ile cihaz bazlı olmayan izleme (NILM) yöntemleri karşılaştırılmış, ILM'nin daha yüksek verimlilik sunduğu vurgulanmıştır. Üç sınıflandırıcı modeli (FFNN, LSTM ve SVM) kullanılarak yapılan testlerde, FFNN ve LSTM %90'ın üzerinde doğruluk elde etmiştir. Ayrıca, grup boyutunun doğruluk üzerindeki etkisi incelenmiştir. (Fayaz vd., 2019) konut binalarında kısa vadeli enerji tüketimini tahmin etmek için bir yöntem sunmaktadır. Seul'deki dört çok katlı binadan elde edilen veriler kullanılarak, veri temizleme ve istatistiksel moment hesaplamaları yapılmıştır. İleri beslemeli geri yayılım sinir ağı (FFBPNN) ile yapılan tahminlerde, istatistiksel momentlere sahip verilerin performansı, daha düşük hata değerleri ile daha iyi sonuçlar vermiştir. (Liouane vd., 2018) akıllı evlerde yaşlı ve engelli bireyler için sağlık izleme amacıyla Tekrarlı Aşırı Öğrenme Makinesi (RELM) modeli önermektedir. RELM, insan davranışını öğrenirken geri besleme bağlantıları kullanarak doğruluk ve öğrenme süresi arasında denge sağlar. Deneysel sonuçlar, modelin mevcut yöntemlere göre daha hızlı ve etkili olduğunu göstermektedir. (Hussein vd., 2014) engelli bireylerin yaşamlarını kolaylaştırmak için bilişim ve telekomünikasyon teknolojilerini bir araya getirerek bir akıllı ev geliştirmeyi hedeflemektedir. Geliştirilen sistem, öğrenen ve kendini uyarlayan bir yapı sunmakta ve iki tür sinir ağı içermektedir. Prototip, sistemin etkinliğini göstermek amacıyla oluşturulmuş ve gelecekte gerçek bir evde uygulanması planlanmaktadır.

(Yu vd., 2022) akıllı evlerde konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve tekrarlı sinir ağları (RNN) uygulamalarını incelemektedir. 632 çalışmadan PRISMA metodolojisiyle 43'ü analiz edilmiştir. İncelenen çalışmalar, en çok aktivite tanıma olmak üzere 15 akıllı ev uygulama alanını kapsamaktadır. Bu araştırma, derin öğrenmeyi akıllı evlerde kullanmak isteyenler için önemli veriler sunmaktadır. (Munir vd., 2017) akıllı evlerde sürdürülebilir enerji yönetimi için zeki bir enerji tahmin aracı geliştirmeyi hedeflemektedir. Model, akıllı ev IoT ağı için tekrarlı sinir ağı kullanarak oluşturulmuş ve simülasyonlar, yüksek tahmin doğruluğu ve performans sağladığını göstermiştir. (Popoola vd., 2021) akıllı ev ağlarındaki IoT cihazlarının botnet saldırılarına karşı savunmasızlığını ele almakta ve tekrarlı sinir ağlarının dengesiz ağ trafiği verilerindeki azınlık

sınıfları doğru sınıflandırma yeteneğini incelemektedir. Stacked RNN (SRNN) modeli, Bot-IoT veri seti kullanılarak değerlendirilmiş ve SRNN'nin tüm sınıflandırma senaryolarında RNN'den daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. SRNN, dengesiz ağ trafiği örneklerinin ayırt edici özelliklerini daha iyi öğrenirken, aşırı uyum sorununu daha etkili bir şekilde ele almış ve azınlık sınıfları için daha iyi bir genelleme yeteneği sağlamıştır. (Ding ve Wang, 2020) yaşlıların düşmelerini tespit etmek için giyilebilir sensör gerektirmeyen, akıllı evlerde WiFi altyapısına dayanan bir düşme tespit sistemi (FDS) sunmaktadır. Ticari WiFi cihazları, insan hareketlerinden sinyaller toplayarak bir analiz platformuna iletir. Dalgacık dönüşümü ile gürültü azaltılır ve RNN ile düşme durumu otomatik olarak tanımlanır. Sistem, yaşlılara yardımcı olabilecek bir mobil uygulama olarak geliştirilmiş ve başarılı bir performans göstermiştir. (Ullah ve Mahmoud, 2022) siber güvenlik alanında IoT ağlarında anomali tespiti için yeni bir derin öğrenme modeli önermektedir. LSTM, BiLSTM ve GRU teknikleri kullanılarak geliştirilen model, ayrıca konvolüsyonel sinir ağları ile birleştirilerek hibrit bir yapı oluşturulmuştur. Önerilen derin öğrenme modelleri, NSLKDD, BoT-IoT, IoT-NI, IoT-23, MQTT, MQTTset ve IoT-DS2 veri setleri ile doğrulanmış ve yüksek doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru elde edilmiştir. (Tax, 2018) akıllı evlerde insan davranışlarının gelecekteki olaylarını ve bu olayların zaman damgalarını tahmin etmek için çeşitli dizi tahmin tekniklerinin performansını incelemektedir. Çalışma, veri madenciliği, süreç madenciliği ve veri sıkıştırma alanlarından gelen teknikleri değerlendirerek, LSTM sinir ağlarının bir sonraki aktiviteyi ve olayın zaman damgasını tahmin etmede en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ancak, birden fazla sonraki aktiviteyi tahmin etme görevinde en iyi sonucun hangi teknikle elde edileceği veri setine bağlı olarak değişmektedir.

(Rahim vd., 2023) akıllı evlerde anomali tespiti ve yüz tanıma için derin öğrenme modellerinin kullanımını incelemektedir. Altı farklı model (LR-XGB-CNN, LR-GBC-CNN, LR-CBC-CNN, LR-HGBC-CNN, LR-ABC-CNN, LR-LGBM-CNN) performansları açısından değerlendirilmiş ve LR-HGBC-CNN modeli anomali tespiti ve yüz tanıma görevlerinde en yüksek başarıyı göstermiştir. Model, anomali tespitinde %94 doğruluk ve yüz tanımada %88 doğruluk elde etmiştir. Sonuçlar, derin öğrenme yaklaşımlarının akıllı evlerde güvenlik ve gizliliği artırma potansiyelini vurgulamakta, ancak daha fazla araştırma yapılması gerektiğini belirtmektedir. (Liu vd., 2018) akıllı evlerde saldırı tespiti için CNN ve K-means algoritmasını birleştiren bir hibrit yöntem önermektedir. K-means ile kural tabanı oluşturulmakta, PCA ile özellikler çıkarılmakta ve CNN modeli belirli türde saldırıları tespit etmektedir. Ayrıca, MRR azaltmak için SMOTE ve alt örnekleme teknikleri kullanılmaktadır.

Deneyler, bu yöntemin tespit oranını artırdığını ve MRR'yi düşürdüğünü göstermektedir. (Balasubramanian vd., 2024) IoT ve derin öğrenme kullanarak güvenli ve verimli bir akıllı ev otomasyon sistemi geliştirmektedir. Kullanıcılar, mobil cihazlarıyla sesli komut vererek veya uygulama aracılığıyla fan, televizyon ve ampul gibi cihazları kontrol edebilmektedir. Denemeler, önerilen derin öğrenme modelinin KNN yöntemine göre daha doğru sonuçlar verdiğini ve kullanıcı deneyim kalitesini 10 üzerinden 3.8 puan artırdığını göstermektedir. (Singh vd., 2023) akıllı evlerde enerji tüketimini tahmin etmek ve ev aletlerini programlamak için Grey Wolf optimizasyonu (GWO), CNN ve LSTM kombinasyonunu kullanmaktadır. GWO, CNN-LSTM modelinin performansını artırırken, CNN mekansal, LSTM ise zamansal özellikleri analiz eder. Model, RMSE, MSE ve MAE gibi metriklerle değerlendirilmiş ve sonuçlar sırasıyla 0.6213, 0.3860 ve 0.2808 olarak rapor edilmiştir. Önerilen model, mevcut temel modellere göre daha düşük hata değerleriyle daha yüksek tahmin doğruluğu sunmaktadır. (Kheratkar vd., 2020) ev aletlerinin kontrolünü kolaylaştıran bir ev otomasyonu modeli geliştirmektedir. Model, yaşlı ve engelli bireylerin günlük aktivitelerini verimli bir şekilde yapmalarına yardımcı olmak için kullanıcıdan gelen jestleri algılar. Bir Android uygulaması, bu jestleri yakalayarak Raspberry Pi sunucusuna iletir. Raspberry Pi, görüntü ön işleme ve CNN modelinin eğitilmesi gibi arka plan işlemlerini gerçekleştirir. Kullanıcının jestine göre ilgili eylem ev arayüzünde gerçekleştirilir. (Alhussein et al., 2020) bireysel konutlar için elektrik yük tahmininde CNN ve LSTM kombinasyonu kullanan bir derin öğrenme modeli önermektedir. Model, mevcut yöntemlere göre daha iyi tahmin sonuçları elde etmekte ve farklı zaman dilimlerinde (1-3 saat) doğruluğu artırmaktadır. Ayrıca, büyük veri gruplarıyla yapılan kümeleme analizi, tahmin doğruluğunu daha da geliştirebileceğini göstermektedir. Önerilen model, bireysel elektrik yük tahmininde LSTM tabanlı modellere göre daha üstün bir performans sergilemiştir.

Tartışmalar Ve Bulgular

Akıllı ev sistemlerinde yapay sinir ağlarının kullanımı, enerji verimliliği, kullanıcı davranışlarının analizi ve otomasyon süreçlerinde önemli gelişmeler sağlamaktadır. Bu bölümde, yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerinde sağladığı faydalar ve karşılaşılan zorluklar üzerinde durulacak ve bir değerlendirme sunulacaktır.

Tablo 1, yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerine sağladığı bazı avantajları ve bu avantajların açıklamalarını sunmaktadır.

Tablo 1: Yapay Sinir Ağlarının Avantajları

Avantajlar	Açıklama
Hızlı Öğrenme	Büyük veri setlerinden hızlı bir şekilde öğrenme yeteneği.
Adaptif Sistemler	Kullanıcı davranışlarına ve çevresel değişikliklere uyum sağlama.
Enerji Verimliliği	Enerji tüketimini optimize ederek tasarruf sağlama.
Kapsamlı Veri Analizi	Karmaşık veri ilişkilerini anlamak için güçlü analiz yetenekleri.

Yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerindeki entegrasyonu bazı zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Tablo 2, bu zorlukların tanımlarını ve potansiyel çözümlerini sunmaktadır.

Tablo 2: Yapay Sinir Ağlarının Karşılaştığı Zorluklar ve Potansiyel Çözümler

Zorluklar	Açıklama	Potansiyel Çözümler
Veri Güvenliği	Kullanıcı verilerinin korunması.	Güçlü şifreleme ve güvenlik protokolleri.
Sistem Entegrasyonu	Farklı sistemlerin uyumlu çalışması.	Standartlar geliştirilmesi.
Kullanıcı Kabulü	Kullanıcıların yeni teknolojilere adaptasyonu.	Eğitim programları ve bilgilendirme.
Maliyet Sorunları	Yüksek maliyetler, sistemin yaygınlaşmasını engelleyebilir.	Maliyet etkin çözümler geliştirilmesi.

Yapay sinir ağlarının gelecekteki uygulamalarına yönelik birkaç strateji önerilebilir. Veri Güvenliği: Yapay sinir ağlarının güvenliği artırılmalı ve kullanıcı verilerinin korunması için güçlü önlemler alınmalıdır. Eğitim ve Bilinçlendirme: Kullanıcıların yapay zeka ve akıllı ev sistemleri hakkında bilgi sahibi olmalarını sağlamak için eğitim programları düzenlenmelidir. Maliyet Etkin Çözümler: Yüksek maliyetlerin düşürülmesi için daha uygun maliyetli teknolojiler geliştirilmelidir. Bu tablolar, yapay sinir ağlarının akıllı ev sistemlerindeki avantajlarını ve karşılaşılan zorlukları daha iyi anlamak için önemli bir araçtır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu zorlukları aşmayı ve yapay zeka uygulamalarını daha etkin bir şekilde entegre etmeyi amaçlamalıdır.

Sonuç

Bu çalışma, akıllı ev sistemlerinde yapay sinir ağlarının uygulamalarını incelemektedir. Akıllı ev sistemlerinde yapay zeka, kullanıcıların karmaşık davranışlarını öğrenebilme, uyum sağlama ve enerji verimliliği hedeflerini karşılama konusunda oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Mevcut donanımın hesaplamalı yapay zeka teknikleriyle geliştirilmesi, karmaşık bağlamların anlaşılmasını sağlayacak, tehlikeleri tanıma yeteneklerini artıracak ve sistemin daha etkili tepkiler vermesine yardımcı olacaktır. Yapay zekanın geleneksel alanlarının bu sorunlara farklı bakış açılarıyla nasıl çözümler sunabileceğine dikkat çekiyoruz. Yapılan analizlerimizin akıllı ev sistemlerinin bir sonraki neslinde geliştirilmesine ilham vereceğini, motive edeceğini ve rehberlik edeceğini umuyoruz.

Sonuç olarak, akıllı ev sistemlerinin geleceği, yapay zeka teknolojilerinin entegrasyonu ile şekillenecek; akıllı evlerin potansiyelinin gerçekleştirilmesi için hem teknolojik yeniliklerin hem de kullanıcı davranışlarının dikkate alınması gerektiği, ileride bu alanda çalışmaların giderek artacağı vurgulanmıştır. Bu çalışma, araştırmacılar ve uygulayıcılar için akıllı ev sistemlerinin gelişimine yönelik güncel yaklaşımları ve yöntemleri sunarak, bu alanda yapılacak olan çalışmalarda sunduğumuz analizler ışığında araştırmacılara ilham vermeyi amaçlamıştır.

Referanslar

- Alhussein, M., Aurangzeb, K., and Haider, S. I. (2020). Hybrid cnn-lstm model for short-term individual household load forecasting. *Ieee Access*, 8:180544–180557.
- Bajpai, A., Chaurasia, D., and Tiwari, N. (2024). A novel methodology for anomaly detection in smart home networks via fractional stochastic gradient descent. *Computers and Electrical Engineering*, 119:109604.
- Balasubramanian, M., Kakade, K. S., Mane, S. B., and Anand, S. J. (2024). Deep learning for smart home security systems: Cnn-based home security. *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics*, 16(4):451–463.
- Begg, R. and Hassan, R. (2006). Artificial neural networks in smart homes. *Designing smart homes*, 4008:146–164.
- Ding, J. and Wang, Y. (2020). A wifi-based smart home fall detection system using recurrent neural network. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 66(4):308–317.
- Fayaz, M., Shah, H., Aseere, A. M., Mashwani, W. K., and Shah, A. S. (2019). A framework for prediction of household energy consumption using feed forward back propagation neural network. *Technologies*, 7(2):30.
- Franco, P., Martinez, J. M., Kim, Y.-C., and Ahmed, M. A. (2021). Iot based approach for load monitoring and activity recognition in smart homes. *Ieee access*, 9:45325–45339.
- Hussein, A., Adda, M., Atieh, M., and Fahs, W. (2014). Smart home design for disabled people based on neural networks. *Procedia Computer Science*, 37:117–126.
- Kheratkar, N., Bhavani, S., Jarali, A., Pathak, A., and Kumbhar, S. (2020). Gesture controlled home automation using cnn. In *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, pages 620–626. IEEE.
- Liouane, Z., Lemlouma, T., Roose, P., Weis, F., and Messaoud, H. (2018). An improved extreme learning machine model for the prediction of human scenarios in smart homes. *Applied Intelligence*, 48:2017–2030.
- Liu, K., Fan, Z., Liu, M., and Zhang, S. (2018). Hybrid intrusion detection method based on k-means and cnn for smart home. In *2018 IEEE 8th annual international conference on CYBER technology in automation, control, and intelligent systems (CYBER)*, pages 312–317. IEEE.
- Maduranga, M. and Abeysekera, R. (2022). Bluetooth low energy (ble) and feed forward neural network (ffnn) based indoor positioning for location-

- based iot applications. *Int. J. Wirel. Microw. Technol.(IJWMT)*, 12(2):33–39.
- Munir, M. S., Abedin, S. F., Alam, M. G. R., Kim, D. H., and Hong, C. S. (2017). Rnn based energy demand prediction for smart-home in smart-grid framework. In *Korea Software Congress 2017*, pages 437–439.
- Popoola, S. I., Adebisi, B., Hammoudeh, M., Gacanin, H., and Gui, G. (2021). Stacked recurrent neural network for botnet detection in smart homes. *Computers & Electrical Engineering*, 92:107039.
- Rahim, A., Zhong, Y., Ahmad, T., Ahmad, S., Plawiak, P., and Hammad, M. (2023). Enhancing smart home security: anomaly detection and face recognition in smart home iot devices using logit-boosted cnn models. *Sensors*, 23(15):6979.
- Singh, T., Solanki, A., Sharma, S. K., Jhanjhi, N., and Ghoniem, R. M. (2023). Grey wolf optimization based cnn-lstm network for the prediction of energy consumption in smart home environment. *IEEE Access*.
- Tax, N. (2018). Human activity prediction in smart home environments with lstm neural networks. In *2018 14th international conference on intelligent environments (IE)*, pages 40–47. IEEE.
- Ullah, I. and Mahmoud, Q. H. (2022). Design and development of rnn anomaly detection model for iot networks. *IEEE Access*, 10:62722–62750.
- Yu, J., de Antonio, A., and Villalba-Mora, E. (2022). Deep learning (cnn, rnn) applications for smart homes: a systematic review. *Computers*, 11(2):26.

Bölüm 4

Proje Yönetimi: Temel İlkeler ve Uygulama Stratejilerine Yeni Bakış

Abdulla SAKALLI^{1*}, Musa AYTEMİR²

1. Giriş

Proje yönetimi, modern iş dünyasında giderek daha önemli hale gelmekte olan bir disiplin olarak büyük bir öneme sahiptir. Karmaşık projelerin başarıyla tamamlanabilmesi için etkili bir proje yönetimi uygulaması, sistematik ve planlı bir yaklaşım benimseyerek mevcut kaynakların en etkili biçimde kullanılmasını sağlamaktadır. Bu bağlamda, projelerin belirlenen hedeflerine ulaşabilmesi için zaman, maliyet, kalite ve risk unsurlarının hepsinin dikkatlice planlanması ve iyi bir şekilde yönetilmesi gereklidir. Proje yönetimi sürecinin etkin bir şekilde uygulanması, organizasyonların stratejik amaçlarına ulaşmaları açısından hayati bir öneme sahip olup, aynı zamanda bu süreç, rekabet avantajı elde etmeleri konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, firmalar proje yönetimi alanında uzmanlaşmaya ve bu yetkinliklerini geliştirmeye büyük bir odaklanma içindedirler.

1.1. Proje Yönetimi Tanımı ve Önemi

Belirli hedeflere ulaşmak amacıyla kaynakların etkin yönetimi ile birlikte zaman, maliyet ve kapsam gibi sınırlamalar içinde projelerin planlanması, yürütülmesi ve kontrol edilmesi sürecidir. Bu süreç, projelerin karmaşıklık derecesine bağlı olarak farklılık gösterebilir, fakat genel olarak tanımlı adımlar ve yöntemlerle yönetilir. Proje yönetimi, organizasyonlar için sürdürülebilirlik ve karlılığı artırmak adına kritik bir araçtır. Ayrıca, iş süreçlerindeki zaman ve maliyet tasarrufu, kaynakların verimli dağıtımı ve stratejik hedeflerle uyumlu sonuçlar elde edilmesi açısından büyük önem taşır (Pennypacker ve Grant, 2003; Bryde ve Wright, 2007; Okine, 2024; Catanio vd., 2013).

¹ Prof. Dr., İskenderun Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ORCID: 0000-0002-2488-7318

*Sorumlu yazar

² AS Bilim Danışmanlık, ORCID: 0009-0002-4538-9235

1.2. Proje Yönetimi Süreci

Proje yönetimi süreci birkaç aşamadan oluşur ve her aşama projenin belirli bir evresine odaklanır. İlk aşama proje başlatma olup, burada projenin amacı, paydaşlar ve başarı kriterleri tanımlanır. Planlama aşaması, kapsamın, zaman çizelgesinin, maliyetlerin ve risklerin detaylandırıldığı süreçtir. Uygulama evresinde projeye ilişkin faaliyetler gerçekleştirilirken iletişim ve kalite de yönetilir. İzleme ve kontrol aşaması, performansın değerlendirilmesi ve gerektiğinde düzeltici adımların atılması olarak özetlenebilir. Son olarak kapanış aşaması, projenin resmi olarak tamamlandığı ve sonuçlarının değerlendirildiği süreçtir.

2. Proje Yönetimi Temelleri

Projelerin etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesi için gerekli olan temel prensipleri ve metodolojileri kapsar. Bu temeller, proje yaşam döngüsünün tüm evrelerinde yapılan faaliyetleri içerir ve bu evrelerin entegrasyonunu sağlayarak projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunur. Proje yönetimi temelleri, planlama, organizasyon, liderlik ve kontrol gibi unsurları içerirken, aynı zamanda proje hedeflerinin tanımlanması, proje kapsamının belirlenmesi ve kaynakların etkin kullanımı konularında rehberlik eder. Projelerde karşılaşılabilecek risklerin öngörülmesi ve risklere yönelik stratejilerin belirlenmesi de bu temeller arasında yer almaktadır.

2.1. Proje Kavramı ve Özellikleri

Belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere, genellikle benzersiz ve tekrar edilemez faaliyetlerden oluşan geçici çabalar bütünüdür. Projeler, belirli bir başlangıç ve bitiş noktasına sahiptir ve bu özellikleri ile operasyonel faaliyetlerden ayrışır. Projenin temel özellikleri arasında belirgin hedefler, belirli bir kapsam, sınırlı zaman dilimi ve genellikle sınırlı kaynaklar yer alır. Projeler, yenilikçi ve yaratıcı çözümler gerektirir ve sık sık değişim ve belirsizlikle başa çıkmayı zorunlu kılar. Ayrıca, projeler çoğunlukla birden çok paydaşın etkileşimini içerdiğinden bu paydaşların beklentilerinin dengelenmesi de kritik bir öneme sahiptir (Artto, vd,2008).

2.2. Proje Yöneticisinin Rolü ve Sorumlulukları

Projeyi başlangıç aşamasından tamamlanana dek en verimli şekilde yürütmek ve projenin hedeflerine ulaşmasını sağlamaktır. Bu amaçla proje yöneticisi, planlama, yürütme, izleme ve kapatma aşamalarında aktif rol oynar. Sorumlulukları arasında proje planının geliştirilmesi, kaynakların yönetimi, ekibin motivasyonu ve liderliği, risk yönetimi, zaman, maliyet ve kalite kontrolü

gibi kritik unsurlar yer alır. Proje yöneticisi ayrıca paydaşlarla etkin iletişim kurarak, onların beklentilerini yönetmeli ve proje boyunca ortaya çıkabilecek engellere karşı stratejik çözümler geliştirmelidir. Proje başarıyla tamamlandığında, proje yöneticisinin görevleri projeden alınan derslerin belgelenmesi ve ilgili sonuçların üst yönetime raporlanması ile son bulur.

3. Proje Yönetim Planlama

Bir projenin başarısı için kritik bir aşamadır ve belirli hedeflere ulaşmak amacıyla tüm faaliyetlerin organize edildiği bir süreçtir. Bu süreç, projede yer alacak kaynakların, zaman çizelgelerinin ve bütçenin detaylı bir şekilde ele alınmasını gerektirir. Başarılı bir proje yönetim planı oluşturulurken proje ekibinin, paydaşlarının ve yöneticilerin katılımı önemlidir. Planlama süreci boyunca oluşabilecek belirsizlikler ve riskler önceden tanımlanmalı ve çözümler geliştirilmelidir. Ayrıca sürekli izleme ve kontrol mekanizmaları tesis edilerek, projenin istenilen hedeflere ulaşması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır (Xue, vd, 2020).

3.1. Proje Kapsamı ve Hedefleri Belirleme

Projenin başlangıç aşamasında kritik öneme sahip bir adımdır. Proje kapsamı, projenin sınırlarını ve içeriğini tanımlarken, hedefler ise projenin ulaşmayı amaçladığı somut çıktıları belirler. Proje kapsamının net bir şekilde tanımlanmaması, zaman ve bütçe aşımına yol açabilecek kapsam sürünmesine neden olabilir. Hedefler belirlenirken SMART kriterleri (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) temel alınmalı, bu sayede proje ekibinin yönelimi ve motivasyonu artırılmalıdır. Etkin bir iletişimle paydaşların beklentileri de göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2. Proje Kaynakları ve Bütçe Yönetimi

Projeler hedeflerine ulaşabilmeleri için gerekli olan insan gücü, malzeme ve finansal kaynakların etkin bir biçimde planlanması ve yönetilmesini kapsamaktadır. Proje süreci boyunca sınırlı kaynakların en verimli şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Bütçe yönetimi, maliyet tahminlerinin doğru bir şekilde yapılması, harcama planlamasının titizlikle gerçekleştirilmesi ve bütçeye uygunluğun düzenli aralıklarla izlenmesi gibi önemli unsurları içerir. Kaynak yönetimi ise, görevlerin etkin bir biçimde atanması, zaman çizelgelerinin dikkatlice hazırlanması ve ekip üyeleri arasında iş birliğinin sağlanmasına odaklanarak ilerlemektedir. Bu süreç içerisinde kaynakların doğru bir şekilde tahsis edilmesi ve etkin iletişim sağlanması, projenin genel başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Proje yöneticileri, kaynakları göz önünde bulundurarak stratejiler geliştirmek ve potan-

siyel sorunları önlemek için sürekli olarak dikkatli bir değerlendirme yapmak zorundadırlar. Bu kapsamda, her bir kaynak türünün kullanımının etkinliğini artırarak, projenin genel hedeflerine ulaşmak için en uygun yolu bulmaya çalışmalılar (Goda, vd.2023).

4. Proje Yönetimi Uygulama Stratejileri

Projelerin başarılı bir şekilde yürütülmesi için gerekli olan yaklaşımlar ve yöntemlerin geniş bir yelpazesini kapsar. Bu stratejiler, proje hedeflerine ulaşmada kullanılacak etkili yöntemlerin belirlenmesi ve bu yöntemlerin sistematik bir şekilde uygulanması sürecinde kritik ve çok önemli bir rol oynamaktadır. Etkili bir strateji belirlerken, proje kapsamı, kaynak kullanımı ve risklerin değerlendirilmesi gibi unsurlar dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır. Proje yönetim stratejileri, aynı zamanda esneklik ve uyarlanabilirlik sağlamalı, değişen koşullara hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verebilmelidir. Bu bağlamda, geliştirilen stratejiler, hem geleneksel hem de yenilikçi yaklaşımları içermeli ve organizasyonun kendine özgü ihtiyaçlarını, hedeflerini ve çalışma dinamiklerini adresleyebilmelidir. Bu sürecin dikkatlice yönetilmesi, projelerin başarısını artırarak, sonuçların daha verimli ve tatmin edici olmasını sağlar.

4.1. Çağdaş Proje Yönetimi Yaklaşımları

Sürekli değişen iş dünyasında başarıyı sağlamak için geliştirilen modern ve etkili yöntemleri kapsamlı bir şekilde içerir. Bu yaklaşımlar arasında, proje yönetiminde çevikliğin, esnekliğin ve müşteri odaklılığın öneminin arttığı göze çarpmaktadır. Geleneksel yaklaşımlardan farklı bir şekilde, çağdaş yöntemler, projenin tüm yaşam döngüsü boyunca değişikliklere uyum sağlama kapasitesine büyük bir önem vermektedir. Bunun yanı sıra, ekip üyeleri arasında etkin ve açık iletişim, hızlı geri bildirim mekanizmaları ve sürekli iyileştirme süreçleri gibi unsurlar, proje yönetiminin temel öncelikleri haline gelmektedir. Ayrıca, çağdaş proje yönetimi yaklaşımları, yenilikçi teknoloji kullanımını teşvik etmenin yanı sıra, katılımcı bir kültürün benimsenmesini de önemli bir değer olarak eklemektedir. Bu bağlamda, ekiplerin daha proaktif olmaları ve birlikte çalışmalarını teşvik edilmektedir, böylece tüm süreçlerin daha verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesi sağlanmaktadır (Pennypacker, ve Grant, 2003).

4.2. Geleneksel Proje Yönetimi Metodolojileri

4.2.1. Klasik Proje Yaşam Döngüsü

Klasik çerçeveye dayanan geleneksel metodolojiler, Proje yürütülmesine adım adım bir yaklaşım getirir. Bu nedenle proje, başlatma, planlama, yürütme, izleme ve kapanış aşamalarını ardışık bir şekilde takip eder. Genellikle “doğrusal”

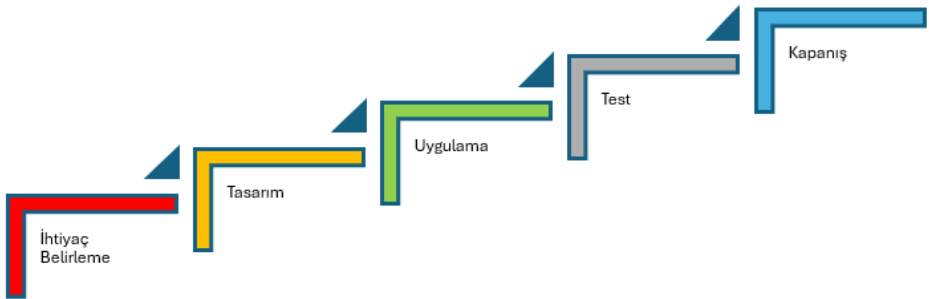
(lineer) olarak adlandırılan bu yaklaşım, bir dizi iç aşamayı içerir ve her biri kronolojik sırayla yürütülür. Daha çok inşaat veya imalat sektörlerinde burada her aşamada çok az veya hiç değişiklik gerekmediği durumlarda uygulanan geleneksel proje yönetimi yazılım mühendisliğinde de kullanılmıştır.



Şekil 1: Klasik proje yönetim şeması

4.2.2. Waterfall Modeli

Planlamaya ve gereksinimlerin detaylı şekilde belirlenmesine büyük önem verir. Proje zamanının ve bütçesinin %40'ına kadar olan kısmının bu aşamalarda harcandığı düşünülür. Bu yaklaşımın bir diğer temel ilkesi ise proje aşamalarının katı bir sırada ilerlemesidir. Yeni bir aşamaya geçilmeden önce önceki aşama mutlaka tamamlanmış olmalıdır. Bu yöntem, tek bir çıktı ve sabit bir teslim tarihine sahip net bir şekilde tanımlanmış projeler için iyi çalışır. Waterfall yaklaşımı ayrıntılı planlama, kapsamlı proje dokümantasyonu ve geliştirme süreci üzerinde sıkı bir denetim gerektirir. Teorik olarak bu durum, zamanında ve bütçe dahilinde teslimat, düşük proje riski ve öngörülebilir nihai sonuçlar sağlar. Ancak, gerçek yazılım geliştirme sürecine uygulandığında, Waterfall yöntemi çok sayıda kısıt nedeniyle yavaş, maliyetli ve esnek olmayan bir yapıya bürünmektedir. Çoğu durumda, gelişen pazar gereksinimlerine uyum sağlayamaması ciddi kaynak israfına ve sonuçta proje başarısızlığına yol açmaktadır (Liu, vd,2014).

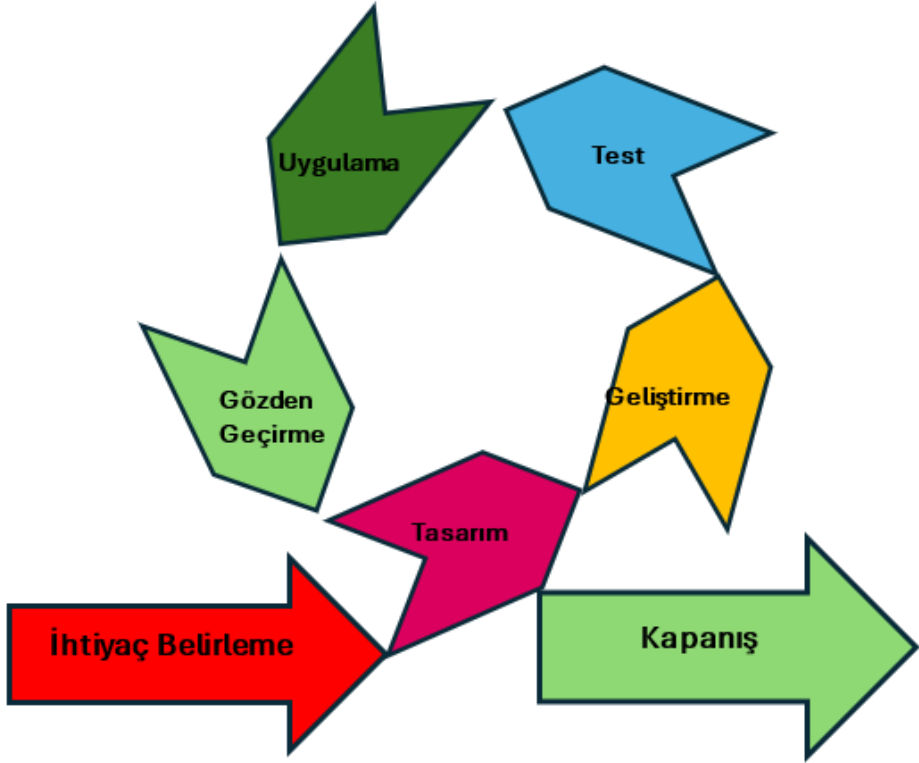


Şekil 2: Şelale (Waterfall) proje yönetim şeması

4.2.3. Agile ve Scrum Metodolojileri

Değişen pazar koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilen esnek ve işbirlikçi proje yönetim yaklaşımları olarak ön plana çıkmaktadırlar. Agile, iteratif ve artımlı bir süreci benimseyerek proje ekiplerinin daha hızlı teslimatlar yapmalarına

olanak tanır ve bu sayede zamanla daha etkili sonuçlar elde edilir. Esnek planlama, sürekli geri bildirim alma ve müşteri odaklılık, Agile'ın temel prensipleri arasında yer almaktadır. Bu yaklaşım, yapılan proje çalışmalarının her aşamasında müşterinin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak, projenin başarısını artırmayı hedefler. Öte yandan, Scrum ise, Agile prensiplerini hayata geçirmek üzere geliştirilmiş bir çerçeve olarak tanımlanmaktadır ve özellikle yazılım projelerinde sıkça tercih edilmektedir. Scrum, ürün geliştirme süreçlerini sprint adı verilen belirli zaman aralıklarına bölerek planlamaktadır. Bu sprintler, ekiplere belirli hedeflere ulaşmak için kısıtlı zaman dilimleri sunar ve takım içerisine net bir şekilde rolleri dağıtarak etkin bir yönetim ve işbirliği sağlar. Böylece, Scrum ile birlikte projelerin ilerleyişi daha izlenebilir hale gelir ve ekipler, karşılaşılan engelleri daha kolay bir şekilde aşabilir (Ekechi, vd,2024).



Şekil 3: Çevik (Agile) proje yönetim şeması

4.2.4. Scrum: Baskın bir çevik çerçevedir. Şirketlerin %58'i yalnızca Scrum kullanırken, %18'i ise Scrum'ı diğer tekniklerle birleştirmektedir. Hirotaka Takeuchi ve Ikujiro Nonaka tarafından 1986'da "The New New Product Development Game" makalesinde ilk kez bahsedilen Scrum, resmi olarak yaklaşık on yıl sonra formüle edilmiştir. 1995 yılında "The Scrum Guide" yazarları Ken Schwaber ve Jeff Sutherland, bu yaklaşımı OOPSLA konferansında sunmuşlardır. Scrum, Agile Manifesto'dan daha önce ortaya çıksa da, Çevik'in temel ilkelerini benimser ve oradaki değerlerle uyumludur.

Sprintler ve Artefaktlar, Scrum'daki temel iş birimi olan "Sprint," teslim edilebilir bir ürün artımı (product increment) ortaya koymak için gereken kısa bir geliştirme döngüsüdür. Bir Sprint genellikle 1 ila 4 hafta sürer. Daha uzun yinelemeler Scrum'ın temel avantajları olan öngörülebilirliği ve esnekliği azaltır. Sprint'lerin projenin tümü boyunca sabit bir uzunluğa sahip olması tercih edilir; bu, planlamayı ve ilerlemeyi takip etmeyi kolaylaştırır. Scrum; gereksinimleri yönetmek ve ilerlemeyi izlemek için kullanılan üç ana artefaktı kullanır:

- 1. Ürün Backlog'u (Product Backlog):** Projenin nihai ürününde bulunması muhtemel özelliklerin sıralı bir listesidir. Yeni gereksinimler, düzeltmeler veya özellikler eklendikçe sürekli güncellenir.
- 2. Sprint Backlog'u:** Her Sprint sonunda işlevsel bir yazılım artımı teslim edebilmek için ekibin tamamlaması gereken görevlerin listesidir. Ekibin "hangi ürün maddelerini teslim edeceği" ve "bunu nasıl yapacağı" burada belirlenir.
- 3. Sprint Burndown Chart:** Bir Sprint'te kalan işi gösterir. Ekibe ve Scrum Master'a günlük bazda ilerlemeyi görme ve Sprint hedefinin zamanında tamamlanıp tamamlanamayacağını öngörme imkanı sunar.

Scrum Toplantıları

Scrum süreci, tekrar eden çeşitli toplantılarla (Daily Scrum/Standup, Sprint Planning, Sprint Review, Sprint Retrospective) resmileştirilir:

- **Daily Scrum (Günlük Scrum):** Geliştirme Ekibi'nin işini koordine ettiği ve önümüzdeki 24 saate dair plan yaptığı zaman kutulu (timeboxed) bir toplantıdır. 15 dakika sürer ve her gün aynı yer ve saatte yapılır.
- **Sprint Planning (Sprint Planlama):** Her Sprint'in başında, Sprint'te yer alan herkes(Ürün Sahibi, Scrum Master, Geliştirme Ekibi) bir araya gelerek hangi işin yapılabileceğini ve nasıl yapılacağını belirler. Bir aylık Sprint için bu toplantı 8 saatten uzun sürmez; daha kısa Sprintlerde toplantı süresi de kısılır.
- **Sprint Review (Sprint Gözden Geçirme):** Her Sprint'in sonunda, ekip ve ürün sahibi tamamlanan işleri gözden geçirmek üzere bir araya gelir.

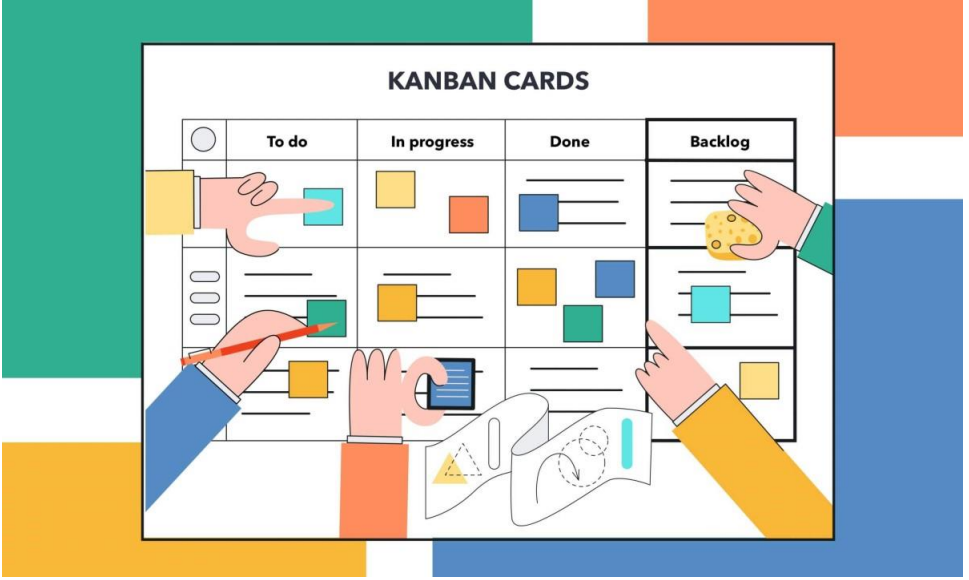
Resmi olmayan bu toplantıda ekip, üretilen ürün artımını gösterir ve soruları yanıtlar. Ardından ürünü daha değerli kılmak için bir sonraki adımın ne olacağına birlikte karar verilir. Bir aylık Sprint için en fazla 4 saat sürer.

•**Sprint Değerlendirmesi (Sprint Retrospective):** Sprint Review sonrasında ve bir sonraki Sprint Planlama'dan önce yapılır. Toplam ekip, Sprint boyunca nelerin iyi veya kötü gittiğini tartışarak iyileştirme yolları arar ve bu değişikliklerin nasıl uygulanacağını planlar. Bir aylık Sprint için en fazla 3 saat sürer.

Scrum Ne Zaman Kullanılmalı? Scrum, paydaş geri bildirimlerinin proje gereksinimlerini ciddi ölçüde etkileyebileceği uzun soluklu ve karmaşık projeler için uygundur. İş kapsamının tam olarak tahmin edilemediği ve kesin bir çıkış tarihinin belli olmadığı durumlarda Scrum tercih edilebilir. Müşteri ihtiyaçlarına ve zamanında/bütçe dahilinde teslimata öncelik veren Scrum, Çevik kullanıcılarının %89'unun güvenini kazanmıştır. Microsoft, IBM, Yahoo ve Google gibi önemli şirketlerce aktif olarak kullanılır. Scrum Alliance'ın yaptığı son araştırmalar, Scrum'ın bilişim sektörünün ötesine geçtiğini; finans, danışmanlık ve eğlence gibi alanlarda da iş süreçlerini düzenlemek ve müşteriyle işbirliğini güçlendirmek amacıyla tercih edildiğini gösteriyor. 2016'da "State of Scrum" raporu katılımcılarının %98'i gelecekte de Scrum kullanacaklarını belirtmiştir

4.2.5. Kanban: Devam Eden İş Yönetmek için Kapsamlı Çözüm

Kanban, bir diğer popüler proje yönetimi çerçevesidir ve şirketlerin %43'ü Kanban'ı kullandığını belirtir. Toyota'nın üretim kontrol yöntemi olarak kullandığı görsel kart sisteminden (Kanban) esinlenerek oluşturulan bu yaklaşım, basit ama güçlü bir yazılım geliştirme yöntemidir. Japonca'da "görsel sinyal" anlamına gelen Kanban, iş akışını görselleştirmeye odaklanır ve devam eden işin (WIP) kapsamını, ekibin kapasitesine en uygun seviyede tutmayı amaçlar. Bir görev tamamlanır tamamlanmaz ekip, sıradaki görevi üretim hattından (pipeline) çekip almaya hazır olur. Böylece geliştirme sürecinde planlama daha esnektir, teslimat daha hızlı yapılır, hedefler nettir ve şeffaflık sağlanır (Golchev vd, 2015).



Şekil 4: Örnek KANBAN panosu

Scrum'dan farklı olarak Kanban'da zaman kutucuklu yinelemeler (Sprint) veya standart süreçler zorunlu değildir. Proje geliştirme, genellikle yapışkan notlar ve beyaz tahtalar ya da Trello gibi çevrimiçi araçlar ile temsil edilen bir Kanban panosu üzerinden yürütülür. Trello, Kanban'ı dijitalleştiren bir araçtır. Her Kanban kartında iş ögesine dair özet bilgi bulunur; böylece herkes kimin hangi işi yaptığı, bu işin ne zaman bitmesi gerektiği gibi bilgilere erişebilir. Ekip üyeleri kartlara yorum ekleyebilir, ekran görüntüleri, belgeler veya bağlantılar ekleyerek daha fazla bilgi paylaşabilir. Bu yaklaşımda ekip üyeleri işbirliği içinde çalışır. İlerlemenin anlık takibi, herkesin ortak hedefe katkı sağlama bilincini artırır ve işi zamanında ve düzgün şekilde tamamlama odaklı bir kültür yaratır.

Kanban Ne Zaman Kullanılmalı?

Kanban, küçük parçalara ayrılmış işleri hızla tamamlamaya ve öncelikleri güncel gereksinimlere göre değiştirmeye olanak tanır. Scrum'dan farklı olarak, önceden belirlenmiş Sprint hedefleri yoktur. Kanban, iş parçalarının sırayla ele alınıp, ortaya çıkan hataların anında düzeltilmesi gibi bir akış sağlar. Özellikle ürünün ana sürümünü yayımlandıktan sonra bakım ve iyileştirme süreçlerinde son derece uygun bir yöntemdir. Spotify gibi müzik akışı hizmeti sağlayıcıları veya mobil oyun sektörünün öncü şirketlerinden Wooga yıllardır Kanban yaklaşımını başarıyla uygulamaktadır. Bunun yanı sıra şirketlerin %8'i, Scrum ve Kanban tekniklerini harmanladıkları "Scrumban" adlı bir karma yaklaşımı benimsemiştir.

4.2.6. Hibrit (Waterfall ve Çevik Karışımı, Esnek Geliştirme ve Detaylı Proje Planlama)

Çevik ve Waterfall, yazılım geliştirme yönetimine ilişkin farklı bakış açıları sunar. Çevik, yinelemeli (iteratif) geliştirme ve esnekliği vurgularken, Waterfall aşamalı (adım adım) geliştirmeyi, detaylı planlamayı ve süreç boyunca değişiklikleri pek kabul etmemeyi öne çıkarır. Şirketlerin %23'ü, bu iki yaklaşımın ilkelerini bir arada kullanmanın, tek birini seçmekten daha faydalı olabileceğini görmüştür. Geleneksel Waterfall proje yönetimi yaklaşımı ve Çevik'in birleşimi "Hibrit" olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, yazılım geliştirme için Çevik felsefesinin avantajlarından yararlanılırken; bütçeleme, planlama ve donanım kurulumu gibi konularda Waterfall'ın adım adım yapısı tercih edilebilir. Ayrıca, Waterfall sürecine Çevik uygulamaları eklemek, riskleri azaltmak ve projelerin başarılı olma şansını artırmak için de kullanılır. Örneğin: Planlama "sprintler" aracılığıyla yapılabilir, testler geliştirme süreciyle entegre edilebilir ve düzenli geri bildirim toplama süreçleri uygulanabilir. Kanban panoları veya Sprint retrospektifleri gibi yöntemler de sisteme eklenebilir. Unutulmaması gereken nokta, hibrit çerçeveler sadece iki yöntemi proje aşamalarına göre bölmekle kalmaz; aynı zamanda Waterfall sürecine Çevik pratikleri enjekte etme seçeneklerini de içerir.

Hibrit Ne Zaman Kullanılmalı?

Hibrit hem donanım hem yazılım geliştirme faaliyetlerine bağlı olan projelerde etkili bir çözümdür. Ayrıca müşteri, belirsiz zaman çerçevesi ve bütçe ile planlamanın eksik olmasından (bunlar Çevik'te sık rastlanan durumlardır) memnun değilse, bu durumda proje planlama, gereksinim tanımlama ve uygulama tasarımı Waterfall yaklaşımıyla yapılabilir. Yazılım geliştirme ve test aşamaları içinse Çevik uygulanır.

4.2.7. Bimodal: Geleneksel Waterfall ve Çevik Birarada

Bimodal yaklaşım da oldukça popülerdir: Şirketlerin %16'sının bu metodu tercih ettiği tahmin edilmektedir. "Bimodal BT" terimi 2014'te Gartner tarafından ortaya atılmıştır. Bimodal, iki ayrı ancak tutarlı çalışma stilinin yönetilmesi uygulamasıdır: Biri öngörülebilirliğe, diğeri ise çevikliğe odaklanır.

- Mod 1 gelenekseldir; iyi anlaşılan ve öngörülebilir alanlarda kusursuz çalışır. Gartner'a göre, "bilinenlerin en iyi şekilde kullanılması ve eski (legacy) ortamın dijital dünyaya uygun hale getirilmesi" üzerine yoğunlaşır.
- Mod 2 ise hızlı uygulama geliştirme modelidir. Keşif odaklı, doğrusal olmayan ve yeni problemlere çözüm üretmek üzere optimize edilmiştir. Özellikle mümkün olan en kısa sürede tamamlanması gereken projeler için faydalıdır.

Bu iki mod farklı beceriler, teknikler ve araçlar gerektirir. Bu nedenle iki ayrı çalışma ekibi olması beklenir. Ekiplerin iki farklı hedefi vardır, istikrarı sağlamak ve aynı zamanda yeniliklere öncülük etmek.

Mod 1 ekibi uzun vadeli iş ihtiyaçlarını karşılamak üzere uygulamaları ve temel sistemleri geliştirir ve korur. Şirketin teknolojik altyapısı direkt olarak bu ekibin yaptığı işe bağlıdır.

Mod 2 ekibi ise yenilikçi uygulamaları hızlıca teslim eder ve kısa vadeli iş gereksinimlerini yerine getirir. Bu ekip, müşteri geri bildirimlerini değerlendirerek ürünün işlevselliğini değiştirebilir ve pazarı sürekli analiz ederek hareket eder. İki ekip, farklı kurumsal yapılara rapor verir ve farklı teslimat mekanizmaları kullanır. Bununla birlikte fikir alışverişi ve sonuçların paylaşılması için birbirleriyle iletişim halinde olmalıdırlar. Mod 2, Mod 1'in sağladığı bilgi ve hizmet altyapısını kullanırken, Mod 1 ise hem yeni ürün fikirlerini hem de yeni geliştirme yöntemlerini test etmek için Mod 2'ye güvenir. Zamanla bu yöntemler Mod 1 tarafında da uygulanabilir.

Bimodal Ne Zaman Kullanılmalı?

Şirket hem uzun vadeli hem de kısa vadeli projelere odaklanıyorsa ve bu projeler farklı geliştirme ve yönetim yaklaşımları gerektiriyorsa, Bimodal doğru tercih olabilir. Bimodal, BT altyapısını koruma ve aynı zamanda yenilikler geliştirme arasındaki dengeyi sağlar. Başarıyla uygulandığında, Bimodal şirketlerin rekabet gücünü korumaları için ihtiyaç duyulan çözümleri hızla sunmalarına yardımcı olur.

4.2.8. Lean: Yazılım Mühendisliğinde İsrafi Ortadan Kaldırmak

Yapılan son tahminlere göre şirketlerin %17'si Lean yaklaşımını benimsemektedir. 2015'ten 2016'ya popülerliği azalmış olsa da hâlâ en çok kullanılan ilk 5 Çevik çerçeveden biri konumundadır. Lean yaklaşımının Kanban ile benzer kökleri vardır. İlk olarak Toyota Üretim Sistemi'nde ("müşterinin sipariş verdiği araçları en hızlı ve verimli şekilde üretip hızlıca teslim etmek") uygulanan bir yönetim yaklaşımı olarak doğmuştur. Lean prensiplerinin yazılım geliştirmeye uyarlanması yedi temel ilkeyi içerir:

1. İsrafi ortadan kaldırmak
2. Öğrenmeyi pekiştirmek ve bilgi oluşturmak
3. Kararları mümkün olduğunca geç vermek
4. Mümkün olduğunca hızlı teslim etmek
5. Ekibe yetki vermek
6. Bütünlük/kalite inşa etmek
7. Bütüne bakmak

Bu ilkelere daha yakından bakacak olursak;

•**İsrafi ortadan kaldırmak:** Proje açısından bakıldığında “israf,” projeye değer katmayan her şeydir. Yazılım mühendisliğinde bu, atıl zamanlar, gereksiz özellikler veya hatalar olabilir.

•**Öğrenmeyi pekiştirmek ve bilgi oluşturmak:** Lean’e göre yazılım geliştirme sürekli bir öğrenme sürecidir. Geliştiriciler ilk seferde mükemmel kod yazamayabilir; hataları tespit edip düzeltmek ve kodu iyileştirmek yoluyla deneyim kazanırlar.

•**Kararları mümkün olduğunca geç vermek:** Geç alınan kararlar daha fazla bilgiye dayandığı için daha sağlıklı olabilir. Teknolojiler hızla eskidiğinden, geri dönülemez tasarım kararlarını olabildiğince ertelemek akıllıcadır.

•**Mümkün olduğunca hızlı teslim etmek:** Kısa geliştirme döngüleri, geri bildirim almayı hızlandırır. Ayrıca müşterinin nihai tasarıma dair kararını ertelemesine imkan tanır. Böylelikle israf da azaltılmış olur.

•**Ekibe yetki vermek:** Geliştiriciler, teknik kararları alma hakkına sahip olmalıdır, çünkü işin ayrıntılarını en iyi onlar bilir. Ekibin kendi yol haritasını oluşturup uygulayabilmesi önemlidir.

•**Bütünlük/kalite inşa etmek:** Kullanıcının yazılım hakkındaki algısı ile yazılımın gerçek özellikleri örtüşmelidir. Bir müşteri, yazılımın gerekli tüm özelliklere sahip ve kullanımı kolay olduğunu düşünüyorsa, bu yazılım “algılanan bütünlüğe” sahiptir. Konsept bütünlüğü ise yazılımın tutarlı bir mimariye, kullanılabilirliğe ve amaca uygunluğa sahip olması, ayrıca rahatlıkla bakımı ve genişletilmesi anlamına gelir.

•**Bütüne bakmak:** Mühendisler sadece kendi sorumlu oldukları küçük kısmın verimliliğine değil, tüm sistemin genel verimliliğine odaklanmalıdır. Bu yaklaşımla, bütüncül bir sistem yaratmak ve bütünlüğü sağlamak mümkün olur. Lean yazılım geliştirme yinelenmeli ve artımlı bir çerçevedir. Dolayısıyla, tıpkı diğer Çevik yaklaşımlarda olduğu gibi ürünün çalışır bir bölümü erken aşamalarda teslim edilir ve sonraki ilerleme büyük ölçüde ürün sahibinden alınan geri bildirimlere göre şekillenir. Lean yaklaşımının farkı, resmi süreçlere tekrar eden toplantılara veya ayrıntılı görev önceliklendirmesine bağlı olmamasıdır.

Lean Ne Zaman Kullanılmalı?

Lean, ekiplerin minimum uygulanabilir ürün (MVP) stratejisini izleyerek kullanıcıların hızlı geri bildirimini alıp bu doğrultuda ürünü geliştirmelerine imkân tanır. Müşteri alışkanlıkları ve ihtiyaçlarına dair bilgi, ticari başarı potansiyeli olan ürünler ortaya koymak için kritik öneme sahiptir. Geliştiriciler bu geri bildirimleri kullanarak gelecekteki yol haritasını oluştururlar. Kısa yaşam döngüsü olan küçük, kısa dönemli projeler için Lean oldukça uygundur. Aynı zamanda, müşteri proje sürecine dahil olabilecek durumda olmalıdır, çünkü Lean sürekli geri bildirim gerektirir. Ekibin de tek bir ofiste çalışması idealdir, zira iletişim ve etkileşim

kolaylaşır. Nike, Ford ve Intel gibi pek çok üretim şirketi tarafından etkili bir şekilde benimsenen Lean ilkeleri; Corbis, PatientKeeper ve Xerox gibi Startup'lar ve büyük şirketler tarafından yazılım geliştirme süreçlerinde de kullanılmaktadır.

4.2.9. Extreme Programming: İyi Kod Yazmaya Yönelik

Mühendislik Pratikleri Extreme Programming (XP), yukarıda bahsedilen çerçevelerden farklı olarak yazılım geliştirmenin teknik yönlerine odaklanır. Şirketlerin %9'u XP kullandığını belirtmektedir. XP, çevik takımlara mühendislik sürecini optimize edecek çeşitli araçlar sunar. Extreme Programming, yazılımın kalitesini ve değişen gereksinimlere uyum sağlama yeteneğini artırmak amacıyla belirli uygulamaların üst düzeyde, “uç noktada” (extreme) uygulanmasını gerektirir. XP, 1990'larda, Agile Manifesto'nun ilk imzacılarından Kent Beck tarafından, Chrysler Comprehensive Compensation System projesi üzerinde çalışırken geliştirilmiştir. Kent Beck, zorlu görevleri olabilecek en hızlı şekilde yapmak için yöntemler aramıştır. 1999'da yazdığı “Extreme Programming Explained: Embrace Change” kitabında XP uygulamalarını belgeleyerek yaygınlaştırmıştır.

En sık kullanılan XP uygulamaları şunlardır:

- Test-Driven Development (TDD)
- Refactoring (Kodun Yeniden Düzenlenmesi)
- Continuous Integration (Sürekli Entegrasyon)
- Pair Programming (Eşli Programlama)

Test-Driven Development (TDD), otomatik birim testlerinin yazılım tasarım sürecini yönlendirmek için kullanıldığı gelişmiş bir mühendislik tekniğidir. Testler kod yazıldıktan sonra oluşturulmak yerine, TDD'de önce testler yazılır. Bu yaklaşımda testler, işlevi yerine getirecek kod henüz yokken başarısız olmak üzere tasarlanır. Sonra geliştiriciler, testlerin geçmesini sağlayacak kodu yazarlar ve testler başarılı olduktan sonra kodu iyileştirirler (Red-Green- Refactor döngüsü).

TDD, aşağıdaki faydaları sağlamaktadır:

1. Sürekli geri bildirim sağlayan testler sayesinde kod hataları veya kusurlar erken tespit edilir. Böylece nihai ürün kalitesi artar.
2. Proje geliştikçe değişen testler, her zaman güncel bir proje dokümantasyonu olarak işlev görebilir.
3. Geliştiriciler, ürünü test edebilmek için sonucu öngörmek ve projeyi eleştirel biçimde analiz etmek zorunda kaldıklarından motivasyon ve katılım artar. Ürünün kalitesine olumlu yansır.
4. Başlangıçtaki yoğun test yazımı sayesinde hata ayıklama süresi kısalmır.

Refactoring (Kodun Yeniden Düzenlenmesi), kodu sürekli olarak basitleştirme ve netleştirme sürecidir. Bu tamamen teknik bir süreçtir ve yazılımın davranışını değiştirmez. Çevik ekipler, her yinelemede kaynak kodu genişletirken, kod karmaşıklığını veya tekrar eden bölümleri ortadan kaldırmak için refactoring kullanırlar. Bu, kodun bakımını ve genişletilmesini kolaylaştırır, “yazılım çürümelerini” (software rot) önler.

Continuous Integration (CI), çevik takımların paylaşılan kodu ve yazılım testlerini yönetmek için kullandığı bir diğer uygulamadır. CI, aslında Çevik prensiplerin evrimsel bir uzantısı sayılabilir. Kısa yinelemeler yerine, geliştiriciler yazdıkları kodu günde birkaç kez entegre eder (commit). Böylece kullanıcılara sürekli olarak değer sunulur. Yazılımın kalitesini doğrulamak (test) ve dağıtımını otomatikleştirmek için genellikle CruiseControl, Atlassian Bamboo, TeamCity veya Jenkins gibi araçlar kullanılır. Ayrıca CI, paylaşılan kodda oluşabilecek entegrasyon sorunlarını ortadan kaldırarak ürün ana hattını (mainline) temiz tutar.

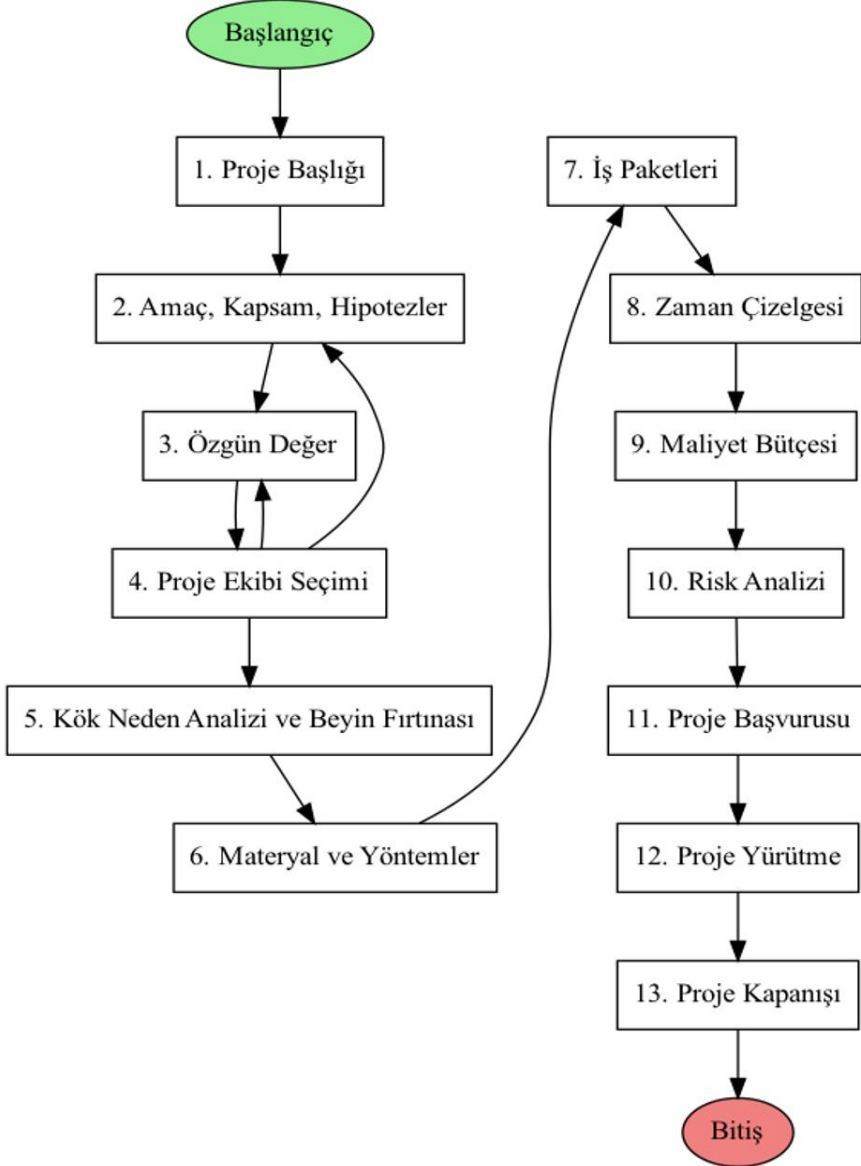
Pair Programming (Eşli Programlama), tartışmalı sayılabilecek bir çevik uygulamadır. İki geliştiricinin birlikte çalışmasını gerektirir. Biri kod yazarken diğeri aktif olarak süreci izler, hata ve eksiklere yönelik öneriler sunar. İki kişinin hem kod hem de genel teknik konulara odaklanmasıyla, daha az hata ve daha iyi bir yazılım tasarımı beklenir. Ayrıca bu yöntem, proje bilgisi ve deneyiminin ekip içinde paylaşılmasına da yardımcı olur. Öte yandan kısa vadede ekip verimliliğini düşürebileceği eleştirileri de vardır: Araştırmalar, bu yöntemle her görevin %15-60 arasında daha fazla zaman alabildiğini göstermektedir. Ancak uzun vadede yazılım kalitesinin artması ile bu kaybın telafi edilebileceğini savunanlar da vardır.

XP Ne Zaman Kullanılmalı?

XP, özellikle katı zaman kısıtları içinde yeni bir sistem geliştirirken oluşabilecek riskleri azaltmaya yönelik araçlar sunar. Ancak XP uygulamalarının doğru işleyebilmesi için ekibin 12 kişiyi geçmeyecek kadar küçük olması gerekir. Yalnızca geliştiricilerin değil, müşteri ve yöneticilerin de projede birlikte çalışma anlayışına sahip olması gerekir. XP, ayrıca birim testlerin yazılması üzerine kurulduğundan, ekibin fonksiyonel test yazımı konusunda deneyimli olması önemlidir. Extreme Programming, sık yapılan kısa yinelemeler (bir haftayı geçmeyen döngüler) ve yoğun müşteri katılımıyla değişen gereksinimlere uyum sağlamayı amaçlar. Müşterinin de işin içinde olup ekiple yüz yüze çalışması beklenir. XP tek başına bir çerçeve olarak kullanılabileceği gibi, Scrum gibi yöntemlerle de harmanlanabilir. Şirketlerin %10'u, XP mühendislik uygulamalarını Scrum yönetim yaklaşımlarıyla birleştiren “Scrum/XP Hibrit” yöntemini tercih etmektedir. Örneğin, bu hibritte Scrum toplantıları ve artefaktları kullanılır, müşteri rolü Product Backlog’u tanımlar ve proje bitene kadar ekiple aynı ofiste birlikte çalışır.

5. AS Bilim Danışmanlık Proje Yönetim Şablonu

Yenilikçi çözümler kapsamında AS Bilim Danışmanlık proje yönetim metodunda yapılan işlemler Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5: AS Bilim Danışmanlık proje yönetim şeması

5.1. Proje Başlığı: Proje yapılmasına karar verildiğinde başlangıç olarak proje başlığı belirlenmelidir.

5.2. Proje Amaç, Kapsam ve Hipotezler: Temel olarak amaç ve kapsamın belirlenmesi yol haritası olarak değerlendirilir. Yapılacak olan projenin hangi paydaşlara etki edeceği süre, zaman, maliyet ve risk değerlerinin hesaplanmış bütünü içine alan bir organizasyondur.

Yapılan projeler için varsayım sürecidir. Proje sonunda neler olabileceği hangi kazanımların elde edileceği öngörülür. Proje sürecince oluşabilecek kararsızlık ve belirsizlikleri azaltmaya yöneliktir.

5.3. Özgün Değer: Projelerin amacına ulaşması için ortaya koyduğu yenilik, ayırt edicilik gibi unsurları belirtir. Özgün değer bir projenin farklılığını ortaya koyar ve kapsamı arasında yenilik ve yaratıcılık ,yeni bir değer yaratma, rekabet avantajı ve özel bir çözüm olarak belirlenir. Sonuç olarak özgün değer projenin benzersiz ve farklı olduğunu açıklayan bir durumdur.

5.4. Proje Ekibi Seçimi: Doğru ekip oluşturma en önemli adımlardan biridir. Proje kapsam ve amaçları doğrultusunda belirlenmesi, yetkinlik ve rollerinin iyi tanımlanması, uzmanlık alanlarının değerlendirilmesi gerekir. Seçilecek yetkin kişilerdeki takım ruhuna uygun olması, analitik düşünmesi, problem çözme yeteneğinin olması ve daha önce proje deneyiminin olmasına dikkat edilmelidir. Ekip üyelerinin sorumluluk ve görevleri tam olarak belirlenmelidir. Ekip yapılacak proje kapsamında gönüllü ve istekli olması sonuçların elde edilmesinde daha yararlı olacaktır.

5.5. Kök Neden Analizi (RCA) ve Beyin Fırtınası: Problemlerin nedenini net bir şekilde anlayabilmek için yetkili kişilerle ve seçilen ekip üyeleri ile ortaya çıkan problemin kaynaklarını araştırmak için kullanılır. Kök neden analizi yapmak için birçok çözüm tekniği vardır. Sorunlara neden olan sebepler çeşitli faktörler açısından incelenerek bir çözüme ulaşmaya çalışılır. özellikle Pareto analizi, Balık kılıcı diyagramı (İshikawa), Değişim analizi ve Risk ağacı analizi ,5 neden analizi, Hata modu ve etkili analiz (FMEA) gibi analiz ve teknikler kullanılan en yaygın kök neden analizleri olarak bilinir. Beyin fırtınası birçok görülemeyen sebepleri fark edilmesinde yardımcı bir teknik olup tek veya grup halinde yapılır. Verilen her bir fikir akla gelen sebep/sonuçlar değerlendirilir ve yorumlanır. Bu sayede bir çözüm yolu ve sebepler açığa çıkabilir.

5.6. Materyal ve Yöntemler: Beyin fırtınası ile yapılan kök neden analizi sonucunda ortaya konulan problemlerin hangi yöntem ve metodoloji ile çözüleceği ile ilgili bölümdür. Problem çözme konusunda bir çok metodoloji kullanılmaktadır. Hangi metodolojinin kullanılacağı yapılmak istenen projeye göre değişiklik gösterebilir. DMAIC Metodolojisi (Mevcut Süreçleri İyileştirme),

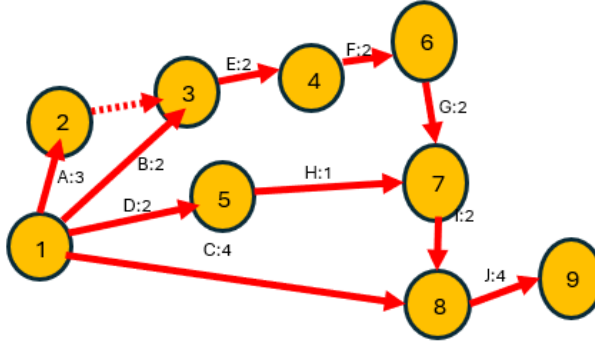
DMADV Metodolojisi (Yeni Süreç veya Ürün Tasarımı) gibi metodolojiler kullanılarak çözüme ulaşılmaya çalışılır.

5.7. İş Paketleri: İş paketleri, belirlenen projede yapılması gereken işlerin küçük parçalar haline getirme /bölme işlemidir. Her iş paketi belirlenen hedeflerin projenin büyüklüğüne göre iş paket sayıları artar ya da azalabilir. Paydaşlara tanımlanan iş paketleri sayesinde projeyi yönetenlerin ve dahil olanların bütünü görmesi açısından takip edilebilir. Her iş paketi süre, kaynak ve maliyet ihtiyacının yanında belirli sorumluluklar alır ve bu sorumluluğu tamamlar. İş paketlerinin bölünme yöntemleri vardır Bunlar; Fazlara Göre Bölme, Fonksiyonlara Göre Bölme, Bileşenlere Göre Bölme,Coğrafi Bölme ve Teslimata Dayalı Bölme şeklindedir.

5.8. Zaman Çizelgesi: Kritik yol metodu(Critical Path Method – CPM), bir projenin başlangıçtan sona erene kadar gerekli olan tüm faaliyetlerin sıralandığı ve sonuca giden en uzun yolun belirlenmesinde kullanılır. Belirlenen en uzun yol, proje için gereken en düşük süreyi verir ve kritik yol olarak değerlendirilir. Kullanım Amacı Projenin tamamlanması için gerekli minimum süreyi belirler. Kritik aktiviteleri ve gecikmelerin projeye etkisini analiz eder. Nasıl kullanıldığına gelince Projedeki tüm aktiviteler belirlenir. Her aktivitenin süresi tahmin edilir. Bağımlılıklar analiz edilerek bir ağ diyagramı oluşturulur ve Kritik yol belirlenerek, gecikmeye toleransı olmayan aktiviteler tespit edilir (Desticioğlu, ve Tosya, 2023).

Tablo 1: Kritik yol faaliyetleri

Faaliyetler	Öncelikli Faaliyet	Süre
A: Editörün Kitap Taslağı Hazırlaması	-	3
B: Örnek Sayfalarının Hazırlanması	-	2
C: Kapak Tasarımı	-	4
D: Şekillerin Hazırlanması	-	2
E: Yazarın Taslağı ve Örnek Sayfaları Onaylaması	A,B	2
F: Kitabın Dizilmesi	E	2
G: Yazarın Dizgiyi Kontrol Etmesi	F	2
H: Yazarın Şekilleri Kontrol Etmesi	D	1
I: Baskı Kalıplarının Hazırlanması	G,H	2
J: Kitabın Basılması ve Ciltlenmesi	C,I	4

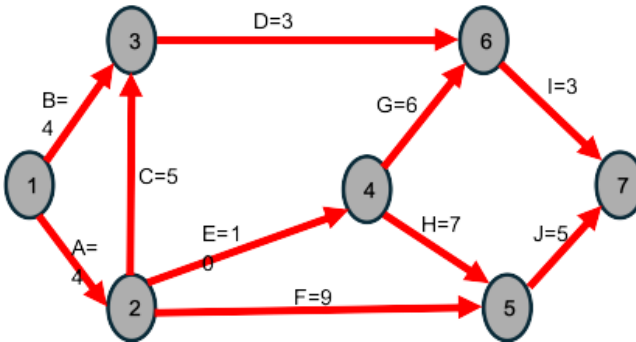


Şekil 6: Kritik yol şeması

PERT (Program Evaluation and Review Technique), işlerin ve bu problemlerin etkileri gibi projedeki faaliyetlerin işlem sırası, önem derecesi gibi kritik bilgilerin izlenmesi, Belirsizlik içeren projelerde zaman tahminlerini daha kesin yapmak için kullanılır. Üç farklı süre tahmini yaparak riskleri minimize eder. Her aktivitenin iyimser (O), kötümser (P) ve en olası (M) süresi tahmin edilir.

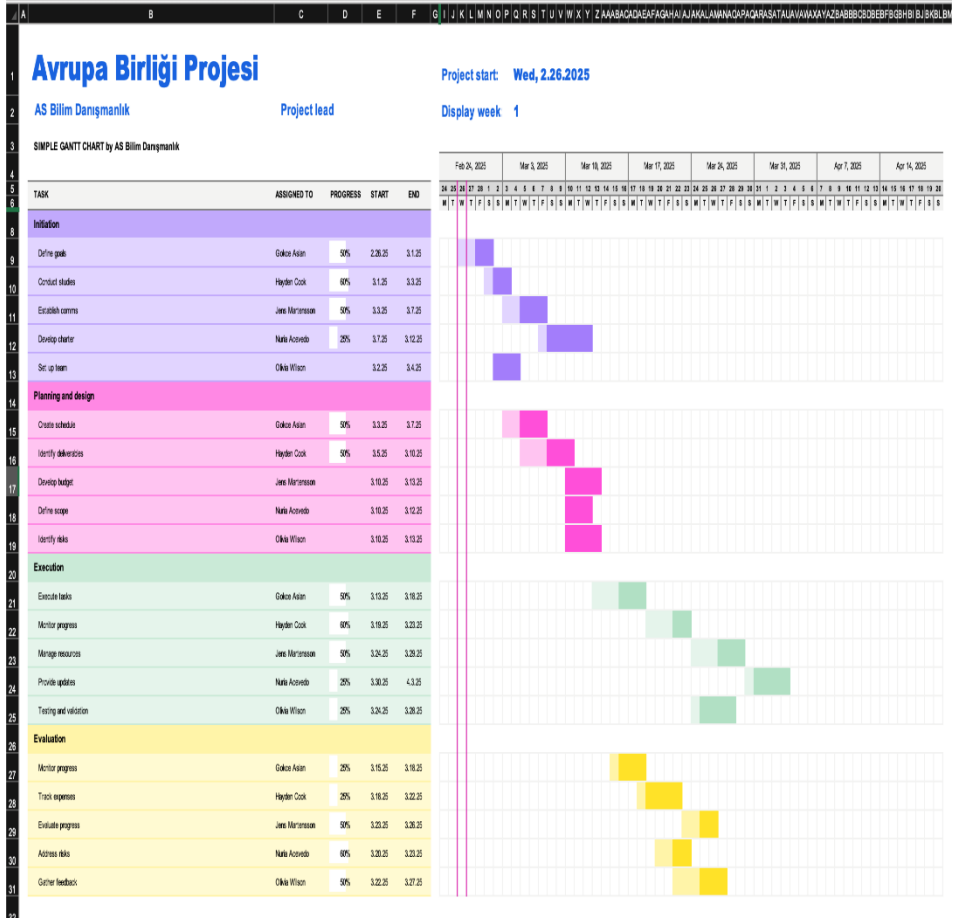
Tablo 2: Kritik yol faaliyetler

Faaliyetler	Önceki				Ort
		O	M	P	
A	-	3	3.5	7	4
B	-	3	4	5	4
C	A	4	5	6	5
D	B,C	2	3	4	3
E	A	6	10	14	10
F	A	7.5	8.5	12.5	9
G	E	4.5	6	7.5	6
H	E	5	6	13	7
I	D,G	2	2.5	6	3
J	H,F	4	5	6	5



Şekil 7: Kritik yol PERT şeması

Gantt şeması, projedeki görevleri ve sürelerini grafiksel bir formatta sunarak, proje yöneticilerinin görevler arasındaki ilişkileri ve zamanlamayı görselleştirebilmesine olanak tanır. Proje aşamalarını ve bu aşamalardaki süreleri görselleştirirken, CPM ve PERT analizleri kritik yolun belirlenmesi ve proje sürelerinin optimize edilmesi açısından büyük bir rol oynamaktadır. Aşağıdaki şekilde bir örnek Gantt seması örneği verilmiştir (Biket ve Sevimli, 2023).



Şekil 8: Zaman yönetimi Gantt şeması

5.9. Maliyet Bütçesi: Proje maliyet yönetimi, projenin kabul edilebilir süresi içinde çıktıların hem kapsamını hem de kalite düzeyini koruyarak projenin maliyetini azaltma sürecidir (Rad, 2002). Bu kapsamda Proje Maliyetlerinin Belirlenmesi ve kapsamlı ele alınması gereklidir. Maliyet Unsurları, Sabit ve değişken maliyetlerin ayrıştırılması, Operasyonel maliyetlerin hesaplanması, Yatırım gerektiren projelerde CAPEX ve OPEX ayrımı gibi konuların ele

alınması gerekir. Ayrıca maliyet yönetimi kapsamında Monte Carlo simülasyonu ile olası olayların matematiksel olarak incelenmesini ele alacağız.

5.9.1. Maliyet Analizi Yöntemleri

Doğrudan ve dolaylı maliyet hesaplamada sabit Maliyetler (Fixed Costs):

Üretim miktarı veya proje süreci değişse bile değişmeyen maliyetlerdir. Bunlar genellikle yatırım ve işletme süreçlerinde uzun vadeli planlamaya konu olur. Sabit Maliyetlerin üretimle olan ilişkisinde üretim miktarlarından bağımsızdır, Ödeme sıklığı düzenli ve sabittir. Kısa vadeli etkide Üretim azalsa bile ödenmeye devam eder. Uzun vadede Ölçek ekonomileriyle maliyet avantajı sağlar. Stratejik önemi ise Yatırım kararlarını ve kapasiteyi belirler.

Değişken Maliyetler (Variable Costs): Üretim miktarına veya projenin büyüklüğüne bağlı olarak değişen maliyetlerdir. Üretim arttıkça yükselir, azaldıkça düşer. Değişken Maliyetlerin üretimle olan ilişkisi ve ödeme sıklığında değişken maliyetler Üretim miktarına bağlı olarak değişir. Kısa vadeli etkide üretim azaldığında düşer, arttığında yükselir. Uzun vadede daha fazla üretim, toplam değişken maliyetleri artırır. Stratejik önemi ise Operasyonel verimlilik için optimize edilmelidir. Dikkat edilmesi gereken hususlar;

- **Gizli Değişken Maliyetler:** Bazı maliyetler görünüşte sabit gibi görünse de belirli üretim seviyelerinin üzerine çıkıldığında değişken hale gelir. Örneğin, fazla mesailer veya bakım maliyetleri.
- **Yarı-Sabit (Karma) Maliyetler:** Bazı maliyetler hem sabit hem değişken olabilir. Bir bakım sözleşmesi hem sabit yıllık ücret içerir hem de kullanılan yedek parçalar değişken maliyet yaratır.
- **Veri Doğruluğu:** Maliyetlerin doğru sınıflandırılması için muhasebe ve operasyonel verilerin doğru kayıt altına alınması gerekir.
- **Maliyetlerin Dönemsel Değişimi:** Sezonluk üretim yapan işletmelerde, sabit ve değişken maliyetlerin belirli dönemlerde farklı etkileri olabilir.

5.9.2. CAPEX (Capital Expenditures - Sermaye Harcamaları): Şirketlerin uzun vadeli varlıklara yatırım yapmak için yaptığı harcamalardır. Bu harcamalar, şirketin üretim kapasitesini artırmak, yeni tesisler kurmak, makine veya ekipman satın almak gibi gelecekte gelir getirecek varlıkları oluşturmak için yapılan yatırımlardır. CAPEX, genellikle büyük ölçekli harcamalar olup, amortisman yoluyla yıllar içinde giderleştirilir.

5.9.3. OPEX (Operational Expenditures - Operasyonel Harcamalar):

Şirketlerin günlük operasyonlarını sürdürebilmek için yaptığı harcamalardır. Üretim sürecinde kullanılan hammadde, enerji giderleri, bakım-onarım harcamaları, işçilik maliyetleri gibi şirketin faaliyetlerini devam ettirmesi için yapılan düzenli ve sürekli giderler OPEX kapsamına girer. Bu harcamalar, finansal tablolarında o yılın giderleri olarak doğrudan yazılır.

5.10. Risk Analizi:

Sözlük anlamı “bir zarara, bir kayba, bir tehlikeye yol açabilecek bir olayın ortaya çıkma olasılığı” (Büyük Larousse, 1986: 9843) dır. Risk Analizin yapılmasının sebepleri, Risk oluşturabilecek odakları bulmak ve değerlendirmek, oluşabilecek risklere karşı önlemleri ve bunların sırasını belirlemek, yapılabilecek tasarrufu yapılabilecek tasarrufu masrafları belirlemek, amaç doğrultusunda ilerleyip ilerlemediğini belirlemek ve bu riski önlemek için yapılan işlemlerde başka bir riske sebep olmamak olarak değerlendirilir.

Risk ve belirsizlik kavramlarını ayırımını iyi yapmak gereklidir. Genelde olasılık dağılımının bilindiği istatistiksel olaylara ‘Risk’, koşullara göre sonuçların tahmin edilemediği, istatistiksel olmayan sonucunu nereye vardığının bilinmediği durumlara da ‘belirsizlik’ olarak değerlendirilir.

Risk sürecinin değerlendirilmesi kapsamında öncelikle bir risk taraması koşullarının oluşturulması gereklidir. Riski tanımlayabilmeli, ölçebilmeli, yargılayabilmeli değerlendirilmeli ve analiz edilmelidir. Risk analizi konusunda ele alabileceğimiz yöntemlerden monte Carlo simülasyonu analiz etmede önemli bir yöntem olacaktır (Topçu ve Korkmaz,2021).

5.10.1. Monte Carlo Simülasyonu:

Sistemler için oluşturulacak çalışmaların o sisteme ait bir model tarafından yapılması önemli avantajlar sağlayacaktır. İşletmeler açısından oluşturulabilecek modellerle aynı sonuçlara ulaşılması mümkündür bu sayede maliyet zaman risk oralarını görülebilecek ve sonuçların uygunluğu belirlenebilecektir. Monte Carlo simülasyonu sayesinde işletmelere ve yöneticilere yapılacak olan projelerin sonuçlarını görmesinde yardımcı olacak bir araştırma tekniğidir (Xiong, 2022).

Simülasyon modellerini iki grupta inceleyebiliriz

5.10.2. Deterministik Simülasyon Modelleri, belirsizlik ve riskin söz konusu olmadığı modellenen ilişkilerin açık ve tam olarak belirlendiği ve olasılık dağılımının gerekli olmadığı durumlarda kullanılabilir.

5.10.3. Rassal Simülasyon Modelleri, Çıktıların sonuçlarının bilinemediği ve çıktıların olasılık dağılımı ile gösterildiği simülasyonlardır. Monte Carlo simülasyon tekniği rassal simülasyon modelleri için uygun bir tekniktir.

5.11. Proje Başvurusu: Amaç, kapsam ve özgün değeri belirlenen, proje ekibi oluşturulmuş, kök neden ve beyin fırtınası gibi analiz teknikleri kullanılarak süreç anlaşılmış, projeye hangi materyal ve metotla yapılacağına karar verirmiş, iş paketleri oluşturularak zaman, maliyet ve risk analizleri yapıldıktan sonra proje beyanına istinaden proje başvurusu yapılır. As bilim Danışmanlık proje yönetin metodolojisindeki başlangıç, proje sürecinin başlangıcı olup projeler başvuru işlemimi sonrasında başlar ve yürütme aşaması ile devam eder, Proje başvuru formu aşağıda olduğu gibidir.

5.12. Proje Yürütme: Proje planınızda ana hatlarıyla belirttiğiniz eylemlere başlama aşamasıdır. Proje aşamaları olan planlama, analiz, tasarım, uygulama, test ve değerlendirmenin uygulanmasıdır.

5.13. Proje Kapanış: Projenin tamamlandıktan sonra sonlandırılması sürecidir. Proje sonunda ortaya çıkan sonuçların kabul testlerinin yapılması amaç ve hedeflerinin kontrolünün sağlanması değerlendirilmesi, belgelenmesi ve belgelenmesi gereken aşamasıdır. Aynı zamanda öğrenilen dersler (Lessons Learned) raporlanmalı ve proje sonrası analizler yapılır.

6. Proje Yönetiminde Başarılı Liderlik ve İletişim

Proje yönetiminde başarılı liderlik ve iletişim, projenin tüm süreçleri boyunca doğru karar verme mekanizmalarının geliştirilmesinde oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Liderlik, yalnızca yönlendirme yeteneğine sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda farklı paydaşlar arasında köprü kurabilme kabiliyetini de içermektedir. Başarılı bir lider, öncelikle açık ve etkili bir iletişim stratejisi geliştirerek, takımın hedeflerini net bir biçimde anlamasını ve her bir ekip üyesinin kendi rollerini etkili bir biçimde yerine getirmesini sağlar. İletişim eksiklikleri, genellikle proje başarısızlıklarının başlıca nedenleri arasında sıklıkla yer almaktadır. Bu nedenle, sürekli geri bildirim döngüleri oluşturarak ekip içinde bilgi akışını sağlam tutmak, uyum içinde çalışmayı kolaylaştırmakta ve belirsizliklerin en aza indirgenmesini mümkün kılmaktadır. Böylelikle proje sürecinin her aşamasında ekip üyeleri arasında daha etkin bir koordinasyon sağlanır ve hedeflere ulaşma konusunda daha güçlü bir dayanışma ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla, projede liderlik rolünde bulunanların iletişim becerilerini geliştirmeleri, projenin başarısı için esasta bir ön koşuldur (Temel, 2022).

6.1. Etkili Liderlik ve Takım Yönetimi

Etkili liderlik ve takım yönetimi, projenin zamanında ve bütçesi dahilinde başarıyla tamamlanmasını sağlarken, aynı zamanda takım üyelerinin motivasyonunu ve bağlılığını artırarak etkili bir çalışma ortamı oluşturur. Etkili bir lider,

farklı disiplinlerden gelen bireylerin yeteneklerini ve deneyimlerini optimize ederek, ekip içindeki dinamikleri güçlendirme konusunda önemli bir role sahiptir. Takım yönetiminde esneklik, şeffaflık ve empati gibi unsurlar ön planda tutulmalı; bu da iletişimin açık, iş birliğinin güçlü ve verimliliğin yüksek olması anlamına gelir. Bir lider, çatışmaları çözebilme yeteneğiyle, takım üyeleri arasında pozitif bir iş ortamı yaratmayı başarır. Ayrıca, takım toplantıları, bireysel katkıların yüksek değerlendirildiği ve etkili geri bildirim mekanizmalarının titizlikle uygulandığı bir platform olmalıdır. Bu tür etkin bir yönetim yapısıyla, takım üyeleri kendilerini daha değerli hissederler. Bu da, takımın genel performansını olumlu yönde etkileyerek daha yüksek başarılar elde etmelerine olanak tanır (Temel, 2022).

6.2. Proje İletişimi ve Paydaş Yönetimi

Proje iletişimi ve paydaş yönetimi, bir projenin genel başarısını doğrudan etkileyen kritik unsurlar arasında yer almaktadır. Etkili iletişim stratejileri, her bir paydaş grubunun spesifik ihtiyaçlarına uygun bir şekilde tasarlanmalı ve düzenli bilgi paylaşımını kapsamalıdır. Dikkat edilmesi gereken husus, paydaşların projeye olan ilgisinin ve dolayısıyla desteklerinin, projeye katılım düzeylerine ve beklentilerinin ne ölçüde karşılandığı ile doğrudan ilişkili olduğudur; bu noktada etkili ve dikkatli bir yönetim anlayışı gereklidir. Proje yöneticisinin rolü, risk ve belirsizlikleri önceden tanımlayarak, paydaşları zamanında bilgilendirmek ve gerekli önlemleri almak açısından son derece önemlidir. İletişim kanalları daima açık ve ulaşılabilir tutulmalı, paydaşlarla olan etkileşim ise sıkı bir iş birliği içinde sürdürülmelidir. Böyle bir yaklaşım, projenin sağlıklı ilerlemesi için temel bir gerekliliktir. Bu çerçevede, iş birliği kültürünün yerleşmesi ve katılımcı bir anlayış geliştirilmesi teşvik edilmeli, aynı zamanda da zorunlu hale getirilmelidir. Paydaşların güveni ve projeye olan inançları, tüm bu süreçlerin etkili bir biçimde yönetilmesine bağlıdır (Amadi, vd,2018).

7. Proje Yönetimi ve Sürdürülebilirlik İlişkisi

Proje yönetimi ve sürdürülebilirlik, günümüzün karmaşık iş ortamında son derece derin bir şekilde bağlantılı olan iki kavramdır. Sürdürülebilir proje yönetimi, projelerin çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda uzun vadeli etkilerini dikkate almayı gerektirir. Bu çerçevede, sürdürülebilirliğe uygun proje yönetimi stratejileri geliştirmenin önemi hem projelerin başarısını hem de toplumsal değer yaratımını artırması bakımından göz ardı edilemez. Projelerin çevresel etkilerini minimize ederken, aynı zamanda ekonomik verimliliği sağlamak ve toplumsal sorumluluk bilincini artırmak son derece önemlidir. Bununla birlikte, sürdürülebilir projeler, paydaşların beklentilerini daha etkin bir

şekilde yöneterek sadakat ve memnuniyet düzeylerini artırma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ilkelerinin proje yönetimine entegre edilmesi, şirketlerin rekabet avantajını sürdürebilmelerini sağlarken, daha sorumlu bir iş yapış biçimi geliştirmelerine de olanak tanır. Hem çevresel hem de sosyal açıdan sorumlu davranmak, günümüz işletmelerinin en önemli hedeflerinden biri haline gelirken, aynı zamanda geleceğe dönük daha sağlıklı bir iş yapma anlayışını da getirecektir. Bu durum hem maliyetleri düşürme hem de topluma katkıda bulunma açısından büyük faydalar sağlayacaktır.

8. Proje Yönetimi ve Teknoloji Entegrasyonu

Proje yönetimi ve teknoloji entegrasyonu, günümüz projelerinde başarının anahtar unsurlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Modern dünyada karşılaşılan zorluklar göz önüne alındığında, teknolojik araçlar da bir o kadar önemli hale gelmektedir. Bu araçlar, proje süreçlerini daha etkin ve verimli hale getirmenin yanı sıra, karar alma süreçlerinde de önemli karar destek unsurları sağlar. Proje yönetim yazılımları, takvimler, bütçeler ve kaynaklar üzerinde gerçek zamanlı izleme ve raporlama imkânı sunarak, proje yöneticilerine stratejik avantajlar sunar. Bu sistemler, yöneticilerin zamanında müdahale etmesine ve sorunları çözmesine yardımcı olur. Özellikle bulut tabanlı platformlar ve yapay zekâ destekli çözümler, proje verimliliğini artırmanın yanı sıra, ekip içerisinde iş birliğini ve bilgi paylaşımını da büyük ölçüde hızlandırır. Teknoloji entegrasyonu, karmaşık projelerin yönetiminde risklerin azaltılması ve stratejik hedeflerin tutarlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için uygun bir zemin hazırlar. Ayrıca, ekipler arası koordinasyonu kolaylaştırarak, tüm sürecin verimli ilerlemesine olanak tanır. Bu bağlamda, bilgi teknolojilerinin etkin kullanımı, projelerin başarı oranını artırarak hem zaman hem de maliyet tasarrufu sağlayabilmektedir. Her aşamada anlık veri analizi ve güncel raporlamalar yapmak, projelerin daha sağlıklı yürütülmesine katkıda bulunan önemli unsurlardır.

9. Sonuçlar ve Tartışmalar Üzerine Değerlendirme

Proje yönetimi uygulamalarının sonunda gerçekleştirilen değerlendirmeler, projelerin başarısını analiz etmek ve bu süreçte edinilen kıymetli dersleri yansıtmak açısından son derece kritik bir öneme sahiptir. Proje sonuçlarının titizlikle incelenmesi, yalnızca proje yönetim süreçlerinin etkinliğini belirlemekle kalmaz, aynı zamanda belirlenen hedeflere ulaşma düzeyini anlamada da etkili bir araçtır. Bu kapsamda, sağlıklı ve objektif bir değerlendirme sürecinin gerçekleştirilmesi hem niteliksel hem de niceliksel verilerin sistematik bir yöntemle araştırılmasını ve yorumlanmasını gerektirir. Proje sonucunda elde

edilen çıktıları, projenin başlangıcında belirlenen hedefler ve projenin paydaş beklentileri ile dikkatle karşılaştırılmalı; varsa sapmaların kaynakları derinlemesine incelenmeli ve analiz edilmelidir. Ayrıca, proje süreci boyunca çeşitli tartışmalar sırasında karşılaşılan zorluklar ve engeller ile bunlara yönelik üretilen çözümler de detaylı bir biçimde ele alınmalıdır. Bu tür bilgiler, yalnızca mevcut projelerin değil, gelecekteki projelerin planlanmasında da önemli katkılar sağlayacak değerli öneri ve stratejiler haline getirilmelidir. Sonuç itibarıyla, proje sonuç değerlendirmeleri ve süreç tartışmaları, proje yönetim süreçlerinin sürekli iyileştirilmesine katkı sunmakta ve bu süreçler, proje yönetiminin genel performansını artırma hedefleriyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Böylece, daha başarılı projelerin hayata geçirilmesine zemin hazırlanırken, aynı zamanda projelerin yönetiminde daha etkin, inovatif ve sürdürülebilir yaklaşımlar da gündeme getirilmektedir.

Kaynakça

1. Pennypacker, J. and Grant, K. (2003). project management maturity: an industry benchmark. project management Journal, 34(1), 4-11. <https://doi.org/10.1177/875697280303400102>
2. Bryde, D. and Wright, G. (2007). project management priorities and the link with performance management systems. project management Journal, 38(4), 5-11. <https://doi.org/10.1002/pmj.20014>
3. Okine, J. (2024). Study on implementation of concepts of project management theories in delivery of projects in ghana. Journal of Economics management and Trade, 30(5), 22-32. <https://doi.org/10.9734/jemt/2024/v30i51207>
4. Catanio, J., Armstrong, G., & Tucker, J. (2013). The effects of project management certification on the triple constraint. International Journal of Information Technology project management, 4(4), 93-111. <https://doi.org/10.4018/ijitpm.2013100106>
5. Biket, A. and SEVİMLİ, G. (2023). Türkiye’de mimarlık eğitimi ve proje yönetimi. Yakın Mimarlık Dergisi, 7(2), 203-228. <https://doi.org/10.32955/neujna202372714>
6. Topçu, M. and KORKMAZ, G. (2021). Savunma tedarik projelerinde risk yönetimi. Savsad Savunma Ve Savaş Araştırmaları Dergisi, 31(2), 319-356. <https://doi.org/10.54078/savsad.1050484>
7. Artto, K., Kujala, J., Dietrich, P., & Martinsuo, M. (2008). What is project strategy?. International Journal of project Management, 26(1), 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.07.006>
8. Xue, J., Rasool, Z., Gillani, A., & Khan, A. (2020). The impact of project manager soft competences on project sustainability. Sustainability, 12(16), 6537. <https://doi.org/10.3390/su12166537>
9. TEMEL, S. (2022). Okul müdürlerinin demokratik liderlik davranışlarının okul projeleri yönetimi ve proje başarısı üzerindeki etkisi. Premium E-Journal of Social Science. <https://doi.org/10.37242/pejoss.4247>
10. Liu, J., Xia, H., & Zhang, H. (2014). A research into the uml legend in the waterfall model development. Applied Mechanics and Materials, 519-520, 322-328. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.519-520.322>
11. Ekechi, C., Okeke, C., & Adama, H. (2024). Enhancing agile product development with scrum methodologies: a detailed exploration of implementation practices and benefits. Engineering Science & Technology Journal, 5(5), 1542-1570. <https://doi.org/10.51594/estj.v5i5.1108>

12. Golchev, R., Jovanoski, B., Gechevska, V., & Minovski, R. (2015). kanban simulation model for production process optimization. *Journal of Engineering Management and Competitiveness*, 5(2), 55-60. <https://doi.org/10.5937/jemc1502055g>
13. Xiong, X. (2022). Analyzing the influencing factors of economic fluctuations in the era of big data. *Scientific Programming*, 2022, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/9374025>
14. Goda, D., Vadiyala, V., Yerram, S., & Mallipeddi, S. (2023). Dynamic programming approaches for resource allocation in project scheduling: maximizing efficiency under time and budget constraints. *Abc Journal of Advanced Research*, 12(1), 1-16. <https://doi.org/10.18034/abcjar.v12i1.722>
15. Pennypacker, J. and Grant, K. (2003). project management maturity: an industry benchmark. *project management Journal*, 34(1), 4-11. <https://doi.org/10.1177/875697280303400102>
16. Amadi, C., Carrillo, P., & Tuuli, M. (2018). stakeholder management in ppp projects: external stakeholders' perspective. *Built Environment project and Asset management*, 8(4), 403-414. <https://doi.org/10.1108/bepam-02-2018-0048>
17. DESTİCİOĞLU, B. and Tosya, M. (2023). Kamu sektöründe proje yönetimi: örnek bir uygulama. *International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences*, 1(1), 664-667. <https://doi.org/10.59287/icaens.1076>

Bölüm 5

Kartografik Genelleştirmede Çizgi Basitleştirme Algoritmaları ve Uygulamaları

Sevgi BÖGE¹, İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ²

1. Giriş

Genelleştirme, kartografyanın temel araştırma konulardan biridir. Harita için yeryüzünün daha basitleştirilmiş bir gösterimi olduğu ve çoğu kez türetme harita olarak, daha büyük ölçekli haritalardan elde edildiği söylenebildiğinden, genelleştirme kartografların görev alanına girmektedir. Genelleştirme tanımı birçok kaynakta verilmektedir. Genel bir ifadeyle genelleştirmeyi; “türetme haritaların elde edilmesi sırasında ortaya çıkan bilgi karmaşıklığının azaltılması, önemsiz bilgilerin atılması, harita objeleri arasındaki belirgin mantıksal ilişkilerin ve estetik kalitenin korunması işlemlerinin bileşkesi” olarak tanımlanabilir (Bildirici, 2000).

Bilgi teknolojisi alanında yaşanan büyük çaplı ve hızlı gelişmeler, çoğu alanda olduğu gibi kartografik genelleştirme alanında da kendini göstermiştir. Bilgisayar teknolojisine paralel olarak dijital harita kavramı gündeme gelmiş ve dolayısıyla genelleştirme kavramı da bilgisayar ortamında modellenmesi üzerine çalışmalar hız kazanmıştır.

Kartografik basitleştirme uyguladığımız zaman, önemli özellikleri belirler ve istenmeyen ayrıntıları elemine ederiz. Bunu yaparken 2 ana hedefimiz vardır;

- Haritanın ölçeğine göre bilgi miktarını okunaklı bir şekilde gösterebilmeliyiz. Yani ne kadar bilgi sunacağımıza karar vermeliyiz.
- Haritalanmış temel coğrafi özellikleri mümkün olduğunca muhafaza etmeliyiz.

¹ Öğr. Gör., Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İçil Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, Kadınhanı, Türkiye
ORCID: 0000-0001-6159-9721

² Prof. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
ORCID2: 0000-0001-7717-586X

İşaretler haritada yer kapladığından, harita ölçekleri küçüldükçe daha az özelliğin yansıtılacağı açıktır. Çözüm olarak yalnızca gerekli objeleri seçmek gerekmektedir. Ancak bu genellikle yeterli değildir. Çoğu durumda eşlenecek bilgiler de basitleştirilmelidir. (Robinson ve diğerleri, 1995)

Basitleştirme temel işlemleri, coğrafi veri tabanında bulunan nesnelerin geometrisini genelleştirir. Sayısal veri tabanı bir ölçekte toplanır fakat bilgiler birçok ölçekte görüntülenebilir. Basitleştirmedeki amaç, gösterilecek bilgi miktarını, bir haritanın onu belirli bir ölçekte temsil etme yeteneğiyle eşleştirmektir. Temel işlemlere, coğrafi ölçek değiştiğinde ve kartografik özellikleri görüntülemek için mevcut harita alanı miktarı değiştiğinde ihtiyaç duyulur. (Cromley, 1992)

Haritayı oluşturan objelerin çizgisel ağırlıkta olması, genelleştirme kapsamında çizgi basitleştirme konusun daha ilgi odağında olmasına neden olmuştur. Yerleşim sınırlarının, hat boyunca uzanan güzergahların (akarsu, yol gibi), eş yükseklik eğrilerinin, kıyı şeridi çizgisi vb. çizgisel nitelikte olan objelerin basitleştirme konusu içerisinde önem teşkil etmektedir.

Objeleri basitleştirmek için çeşitli çizgi basitleştirme algoritmaları mevcuttur. Çizgi basitleştirme algoritmaları genellikle yüksek çözünürlüklü coğrafi özellikleri uygun bir görüntü çözünürlüğünde işlemek için kullanılır. Hem çoklu çizgiler hem de çokgenlere uygulanabilirler.

2. Kartografik Genelleştirme

Genelleştirme, aslında haritalardaki bilgi azaltma sürecidir. Haritanın kullanım amacı, ölçek değişikliği, hedef kullanıcı için kullanım kolaylığı veya teknik kısıtlamalar nedeniyle bilgi azaltımına gidilebilir. Örneğin, 1:24 000 ölçekli bir haritayı (büyük ölçekli), 1:250 000'e (küçük ölçekli) düşürürken, harita alanı önemli ölçüde azaldığında, bazı coğrafi objeler ya değiştirilmeli ya da ortadan kaldırılmalıdır. Ölçek ne olursa olsun, gerçek dünyadaki tüm özellikleri bir harita üzerinde temsil etmek imkânsız olduğundan, elbette tüm haritalar bir dereceye kadar genelleştirilmelidir (Slocum, 2005).

Genelleştirme ve harita okunurluğunu artırmak amacıyla kartografik gösterimde geometrik doğruluğun sınırlandırılması, gösterimin doğruluk açısından farklı karakterde olması sonucunu doğurmaktadır. Kartografik gösterim bu bakımdan 4 farklı gösterim biçimi ile tanımlanır (Hake, 2002).

2.1. Kartografik Genelleştirmenin Temel İşlemleri (Operatörleri)

Genelleştirme süreci coğrafi verinin yorumlanmasını, neyin nasıl genelleştirileceğinin kararını ve genelleştirme sorunlarının nasıl çözüleceği kararına dayanır. Bu yüzden ki manuel genelleştirme süreci kartografların

deneyimlerine dayandığından farklı bakış açıları içermektedir. Buna alternatif olarak bütün genelleştirme sürecini otomatize etmek yararlı olacaktır. Genelleştirmede kısıtlamaları ve kuralları belirleyebilmek için uzman bir kartografin bir haritayı genelleştirirken neyi nasıl yaptığını tespit ederek sayısal yöntem için işlem adımları tanımlanmalıdır. Dolayısıyla genelleştirme süreci, her biri farklı genelleştirme problemine çözüm sunan bir grup genelleştirme temel işlemine bölünmelidir. Birçok kaynakta farklı genelleştirme temel işlemleri söz konusudur. Genel anlamda aşağıda sıraladığımız sınıflardan bahsedebiliriz (Bildirici, 2023; Slocum, 2005).

2.1.1. Basitleştirme

Basitleştirme (simplification) en yaygın olarak kullanılan genelleştirme temel işlemidir. Kavram nispeten basittir çünkü en temel düzeyde gereksiz koordinat verilerinin ayıklanmasını içerir. Basitleştirme işlemleri, gösterim için karakteristik noktaları seçer ya da çizginin karakterini göstermek için gereksiz olduğu düşünülen fazla noktaları çıkarır. Amaç, maksimum koordinat sayısını ortadan kaldırırken, obje geometrisini mümkün olduğunca korumaktır.

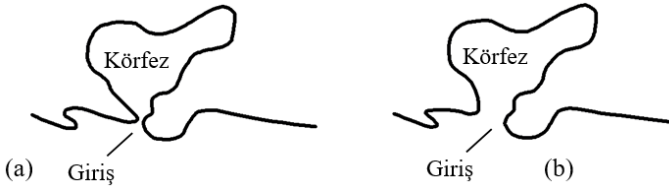
Şekil 1’de bir çizgi obje (a)’da orjinal haritasında 15 nokta ile gösterilmiştir. Sağ tarafta (b), genelleştirilmiş gösterimi ise aynı çizgiye küçük bir basitleştirme işlemi uygulanmıştır. Böylece nokta sayısı 15’ten 13’e düşmüştür.



Şekil 1. Basitleştirme işlemi

2.1.2. Abartma

Abartma (exaggeration) sık uygulanan genelleştirme temel işlemlerinden biridir. Ölçek küçültmede netliği korumak için genellikle bir nesnenin belirli bir bölümünü büyütme gerekir. Şekil 2 ölçek küçültme sonucu kapanacak bir körfezin ağzının abartılmasını göstermektedir. (a)’da orijinal haritasındaki gösterim, (b)’de genelleştirilmiş gösterimi örneklendirilmiştir. Bu gibi bir objede girişin abartılarak gösterilmesi daha uygun olur ve bu haritanın kullanılma amacı açısından da değerini artırır.



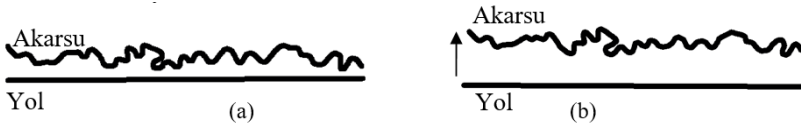
Şekil 2. Abartma işlemi

2.1.3. Öteleme

İki ya da daha fazla obje birbirine dokunacak duruma geldiğinde ortaya çıkan problemleri yok etmek için öteleme (displacement) teknikleri kullanılır. Harita grafiğinin yetersizlikleri ötelemeyi zorunlu kılar. Eğer tüm objeler doğru yerlerinde gösterilebilirse, bu öteleme işlemi gerekli olmayacaktır. Bu dokunmalar ya da binmeler şu şekillerde giderilebilir;

- Objelerin doğru yerlerinden kaydırarak (öteleme),
- Objeleri değiştirerek (işaret değişikliğiyle ya da yerlerini değiştirmeden kesme yoluyla aralarını açma şeklinde)
- Haritadan elemine etmek suretiyle

Şekil 3'deki karayolu ve akarsu gerçekte birbirlerine yakın olmalarına karşın, bitişik değildir. Ancak, onların orijinal harita ölçeğindeki işaretsel gösterimleri (a), ölçek küçültüldüğünde birbirlerine dokunmakta ve olay anlaşılmaz hale gelmektedir. İşte bu durumu ortadan kaldırmak için öteleme işlemi zorunludur (b), yani iki obje gösterimi birbirinden ayrılmaktadır.

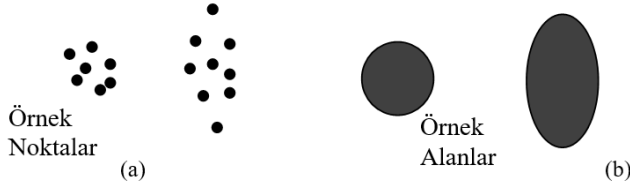


Şekil 3. Öteleme işlemi

2.1.4. Geometrik birleştirme

Geometrik birleştirme (aggregation) ya da toplayarak birleştirme diye adlandırılan temel işlem, bir bina kümesi gibi çoklu nokta özelliklerinin birleştirilmesini içerir. Nokta konumlarının gruplandırılmasını ve bunların alansal olarak temsil edilmesini içerir. Nokta objelerin sayısının ya da yoğunluğunun çok olması, küçültülmüş ölçekte onların ayrı ayrı gösterilmelerine engel olur. Haritanın amacı bakımından onların her şeye karşın gösterilmesi istendiğinde, tek bir alan içinde toplanırlar. Örneğin, binalar arasındaki boşluklar binaların kendi genişliklerinden daha küçükse, birleştirilebilirler ve yerleşim alanları olarak işaretlenirler.

Şekil 4'deki çeşitli nokta objeler görülmektedir. Genelleştirmeden küçültüldüğünü düşündüğümüzde nokta objelerde birleşmeler meydana gelecektir. Aynı objelerin genelleştirilmiş biçiminde, iki alan obje olacak şekilde toplanmış halini görmekteyiz.

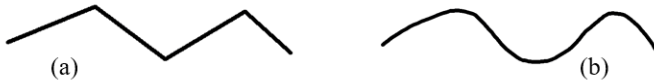


Şekil 4. Geometrik birleştirme işlemi

2.1.5. Yumuşatma

Yumuşatma (smoothing) basitleştirme gibi görülse de farklı bir süreçtir. Bu işlem, noktaların yerlerini yeniden saptama ya da değiştirme yoluyla çizginin biçimine etki eder. Amaç, çizginin en anlamlı eğilimini yakalamaktır. Sayısallaştırmayla ortaya çıkan keskin açılı olma durumunun azalması bu işlemin bir sonucudur. Aslında bu işlemler estetik olarak göze daha hoş görünen bir çizgi elde etmek için bir türetilmiş veri grubu meydana getirir. Burada, koordinatların sayısallaştırma yoluyla bulunan yerleri değiştirilir ve sayısallaştırılan çizgi istenilen çizginin merkezine doğru hareket ettirilir. Bu işlem çizginin büyük ölçekteki şekli çarpıtılmaksızın yapılır.

Şekil 5'de (a)'da görülen çizgideki keskin dönüşleri ortadan kaldırmak için yumuşatma işlemi (b) uygulanmıştır. Hem genelleştirilmiş hem de genelleştirilmemiş biçimlerde aynı sayıda nokta olmasına karşın, genelleştirilmiş biçimi estetik açıdan daha iyi bir görünüme sahiptir.



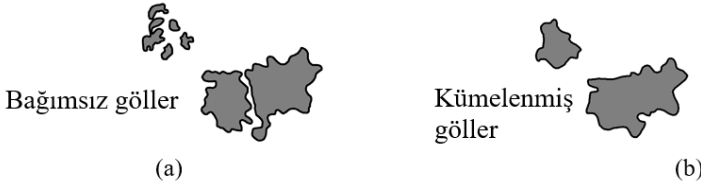
Şekil 5. Yumuşatma işlemi

2.1.6. Kaynaştırma

Kaynaştırma (amalgamation) birbirine yakın objeleri birleştirme işlemidir. Çokgenler bitişik olabilir ya da olmayabilir. Örneğin, bir grup ada bitişik olmamasına rağmen hedef ölçekte birbirlerinden ayırt edilmeyecek kadar yakın olabilir. Bu durumda birleştirilir. İl, ilçe vb. idari birimler bitişiktir. Ancak benzer öznitelikleri olanlar buna göre birleştirilebilir. Orijinal ölçekte birbirine en yakın objelerden bir kümenin büyük parçası esas alınarak yapılan kaynaştırma

sayesinde küçük ölçekte de bölgenin genel karakteristiği korunabilecektir. Bu işlemi sınırlayan faktörlerden biri değişik ölçeklerde gösterilebilecek ayrıntının derecesi için belli bir kuralın olmayışıdır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi, (a)'da sol üst tarafındaki küçük alanlar obje genelleştirme yapılmadığında birbirine çok yaklaşmaktadır. Bu alanların benzer özniteliklere sahip olduğu varsayımıyla hepsinin toplamını temsil eden daha büyük alan objeye (b) bağlanabilir ya da başka bir ifadeyle kaynaştırılabilir.

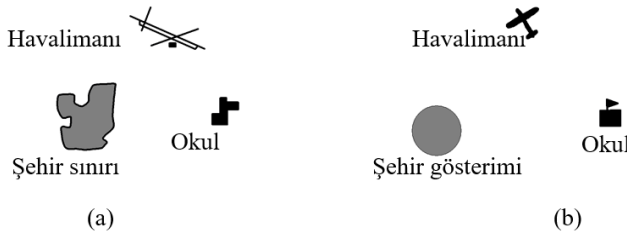


Şekil 6. Kaynaştırma işlemi

2.1.7. Kolaps

Kolaps (collapse) işlemi geometrinin değişimini ifade eder. Örneğin ölçek değişimi nedeniyle karmaşık bir alan bir noktaya dönüşebilir. Bir grup bina birleştirilip blok halinde gösterilebilir. Bu kaynaştırma olarak da görülebilir. Ölçek küçüldüğünde birçok alan objenin noktalar ya da çizgiler olarak işaretlenmesi kaçınılmazdır. Çizgi ve alanın noktaya ya da alanın çizgiye dönüşümü yaygın bir genelleştirme işlemidir. Büyük ölçekte genellikle alan objeler olarak gösterilen hava limanları, nehirler, göller ve binalar daha küçük ölçekte nokta ya da çizgi objeler olarak gösterilebilirler. Genelde alansal toleranslar bu dönüşümde yol gösterici rol oynar.

Şekil 7'de görüldüğü gibi ölçek küçüldükçe detayların işaretlenmesi söz konusudur.

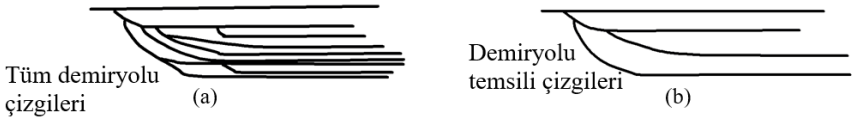


Şekil 7. Kolaps işlemi

2.1.8. Gruplama

Farklı kaynaklarda dönüştürme diye isimlendirilen gruplama (merging), paralel demiryolu hatları gibi çizgisel objelerin azaltılarak bir grup durumuna getirilmesi gibi işlemleri kapsar. Gruplama alansal objelerin çizgiye dönüştüğü kolaps olarak düşünülebilir. Eğer ölçek değişimi büyükse ayrık çizgi objelerin karakterini korumak olanaklı olmayabilir. Bu nedenle, bu çizgi objeler birleştirilmelidir. Örneğin, dallanan ana yollar normalde iki ya da daha fazla komşu çizgiyle temsil edilirler. Küçük ölçekte bu çizgiler yaklaşık olarak ikisinin arasında ortada bir yerde olacak şekilde tek bir çizgi haline getirilirler.

Şekil 8’de orijinal ölçekli haritada her biri ana raya bağlanan çok sayıda raydan oluşan bir demir yolu (a) görülmektedir. Genelleştirme yapılmaksızın ölçekte küçültme yapıldığında raylar birbirine çok yaklaşmaktadır. Raylarda birleştirilme suretiyle genelleştirme yapıldığında küçültülmüş ölçekte daha uygun bir gösterim (b) elde edilmektedir.

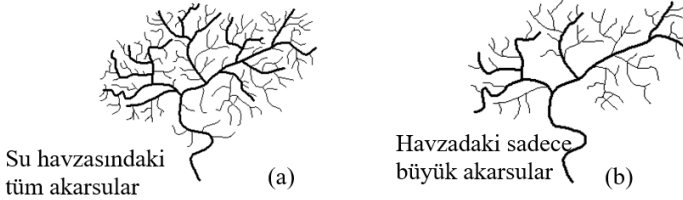


Şekil 8. Gruplama işlemi

2.1.9. Arıtma

Bazı kaynaklarda inceltme (refinement) diye ifade edilen bu temel işlem kolapsa benzer, yeniden işaretletirmenin bir başka biçimidir. Geometri değişimi olmadan yollar, binalar vb. kentsel oluşumların azaltılarak daha basitleştirilmiş bir duruma getirilmesidir. Burada önemli olan karmaşık geometrilerin daha basit bir biçime getirilmesi ve bu yolla objelerin tipikleştirilmesidir. Objeler istenen ölçekte gösterilemeyecek kadar çok sayıda ya da çok küçük olabilir. O zaman, en küçük ya da genel dağılışa katkısı az olan objelerin dışarıda bırakılmasıyla artakalan objeler (yani seçilen objeler) ve işaretlerin temsili bir modeli gösterilir. Arıtma işleminde objelerin genel karakteristiğini korumak gerekir. Şekil 9’da bir havzadaki akarsu sistemi örneği görülmektedir.

Şekil 9’da bir akarsu ağı orijinal harita ölçeğinde (a), en ince koluna kadar gösterilmiştir. Genelleştirmeden küçültme yapıldığında bu ince kollar yüzünden harita okunabilirliği imkânsız bir hal alacaktır. Oysa ağın karakteristik kısımları seçilmek suretiyle bir genelleştirme yapıldığında daha etkili, okunaklı bir gösterim (b) gerçekleştirilmiş olmaktadır.

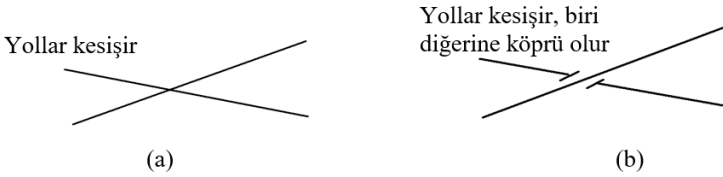


Şekil 9. Arıtma işlemi

2.1.10. İyileştirme

Objelerin şekillerinin ve boyutlarının haritadan beklentileri karşılaması için abartılması ya da vurgulanması gerekebilir. Abartma işlemiyle karşılaştırıldığında iyileştirme (enhancement) esas olarak objelerin mekânsal boyutları ile değil, işaret olarak gösterimleri ile ilgilidir. İşaretler küçültülmüş ölçekte fark edilmez hale gelecektir, bu sebepten pratikte genellikle bu işaretlerin fiziksel boyutları ve şekilleri değiştirilir. İyileştirme işlemi anlamını abartmayacak, sadece gösterime yardımcı olacaktır.

Şekil 10'da görüldüğü gibi bir yol üzerindeki köprü birçok ölçekte doğru olarak gösterilemeyebilir. Köprünün genişliği yolun genişliğiyle aynı olduğu için gösterimde iyileştirme yapmak kaçınılmazdır. Orijinal ölçekteki gösterim genelleştirme yapılmaksızın küçültüldüğünde köprü işareti anlaşılmaz hale gelecektir



Şekil 10. İyileştirme işlemi

2.2. Genelleştirme Modelleri

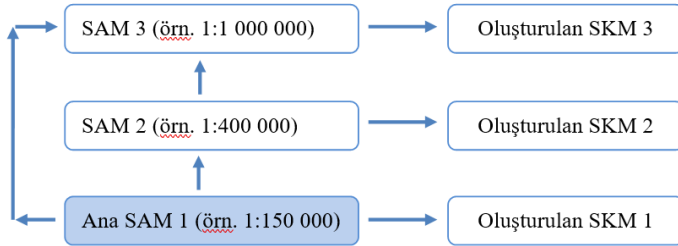
Sayısal kartografik ortamda genelleştirmenin gerekli olacağı özel durumların belirlenmesi gerekir. Bunun için, sıkışma, çakışma, çatışma, karışıklık, tutarsızlık, belirsizlik gibi koşullardan söz edilebilir. Genelleştirmenin temel işlevlerinin ortaya çıkma nedenini bu gibi özel durumların olduğunu söylemek mümkündür. Genelleştirmenin karmaşıklığını daha iyi anlamak için araştırmacılar sürecin kavramsal modellerini tasarlamak için çalışmalar yapmışlardır. Bazı çalışmalar temel işlevler ve bunlar arasındaki ilişkileri incelerken, diğerleri karmaşık modeller tasarlamıştır (Slocum, 2005).

2.2.1. Robinson Modeli

Arthur Robinson ve arkadaşları genelleştirme sürecini daha iyi anlamak için ilk modellerden birini geliştirmişlerdir. Genelleştirmeyi seçme (ön işlem) ve asıl işlem olan, objelerde geometrik ve istatistiksel değişikliklerin yapıldığı genelleştirme olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Seçme haritada kalacak ve elenecek objeleri belirlemek ile ilgilidir. Örneğin bir tematik harita yapılırken minimum obje (ana yollar, idari sınırlar vs.) seçilir, önemli olmadığı kabul edilen yer isimleri, su ağı vb. objeler ise elenir. Topografik harita söz konusu ise önemli olduğu için mümkün olduğu kadar fazla obje haritaya alınır. Genelleştirme, basitleştirme, sınıflandırma ve işaretleştirme işlemleri ile ilgilidir. Basitleştirme objelerdeki gerekli olmayan ayrıntıların elimine edilmesidir. Sınıflandırma objeleri kategorize etmektir. İşaretleştirme ise grafik kodlamadır.

2.2.2. Kilpelainen Modeli

Tiina Kilpelainen, çok ölçekli veri tabanlarının temsili için alternatif yaklaşımlar geliştirmiştir. Sayısal Arazi Modeli (SAM) adı verilen bir ana kartografik veri tabanını varsayarak, daha küçük ölçekli Sayısal Kartografik Modeller (SKM) oluşturmak için bir dizi yöntem önermiştir. Ana SAM, mümkün olan en büyük ölçekli, en doğru veri tabanıdır. Oysa ikincil SAM'ler daha küçük ölçekli uygulamalar için oluşturulur (Şekil 11). SAM yalnızca bir bilgisayar gösterimidir ve görselleştirilemez. Diğer taraftan SKM'ler, SAM'nin genelleştirilmesi veya işaretleştirilmesi yoluyla türetilen gerçek temsillerdir. Modelinde, her SKM doğrudan ilk ana veri tabanından veya önceki versiyonundan oluşur. Her ölçek veya çözünürlük için ayrı bir SAM oluşturulur ve SKM, her SAM'den doğrudan oluşturulur. Ana SAM, daha sonra düzeydeki bir SKM oluşturmak için kullanılan daha küçük ölçekli SAM'leri oluşturmak için kullanılır.



Şekil 11. Kilpelainen'in SAM ve SKM kavramı (Slocum, 2005)

2.2.3. Brassel ve Weibel Modeli

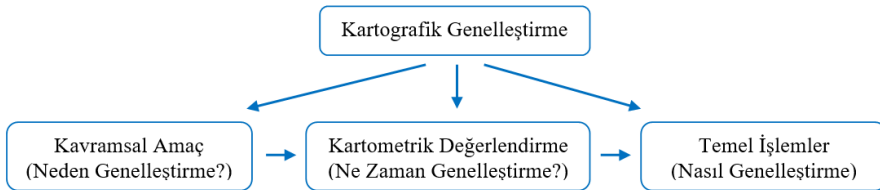
Brassel ve Weibel, Zürich Üniversitesi'nde arazi genelleştirmesinde yöntemler geliştirmek için çalışmışlardır. Araştırmalarında iki temel amaç vardır;

- Farklı arazi çeşitlerine, ölçeklere ve harita amaçlarına uyarlanabilir arazi genelleştirmesi için bir strateji tasarlamak ve
- Bu stratejiyi mümkün olduğunca otomatik olarak uygulamak

Bu amaçlara yönelik; yapı tanıma, süreç tanıma, süreç modelleme, süreç yürütme, veri görüntüleme ve sonuçların değerlendirilmesi olmak üzere beş ana aşamadan oluşan bir arazi genelleştirme modeli geliştirilmiştir. Bu modelde, işlemlerin sayısal arazi modellerine uygulanmasını göstermek için seçim, basitleştirme, kombinasyon ve yer değiştirme dahil olmak üzere belirli genelleştirme işlemlerinin uygulanması tasvir edilir.

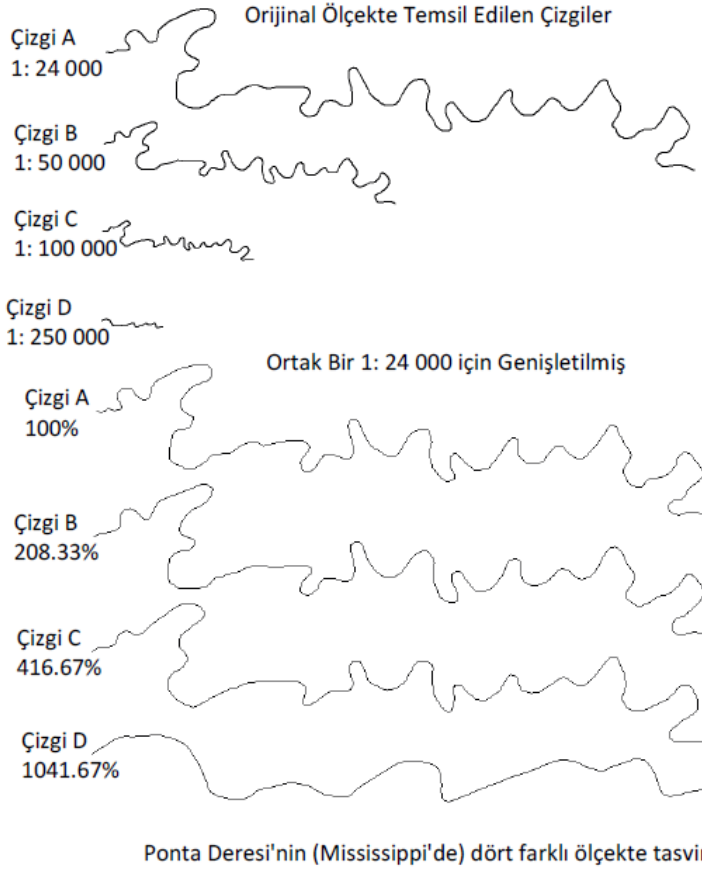
2.2.4. McMaster ve Shea Modeli

McMaster ve Shea kapsamlı bir kavramsal model geliştirmek için üç önemli bileşen belirlemiştir (Şekil 12).



Şekil 12. McMaster ve Shea genelleştirme modeli (Slocum, 2005)

Genelleştirmenin kavramsal amaçları; karmaşıklığı azaltarak, mekânsal ve öz nitelik doğruluğunu, estetik kaliteyi, mantıksal hiyerarşiyi korumak ve tutarlı bir biçimde genelleştirme kurallarını uygulamak olarak ifade edilebilir. Karmaşıklığı azaltmak büyük olasılıkla genelleştirmenin en nemli amacıdır. Kartograf açısından zorluk basit bir şekilde ifade edilebilir. Örneğin 1:25 000 ölçekli bir harita nasıl 1:100 000 ölçekli haritaya dönüşecektir? Bu noktada hedef ölçeğe uygun bilgi içeriğini azaltmak zorluğu ile karşılaşılır. 1:25 000 ölçeğindeki ayrıntının 1:100 000 ölçeğine hiçbir değişime uğramadan aktarılması (olduğu gibi küçültülmesi) şüphesiz ki mümkün olmaz. Yüzyıllardır kartograflar deneyime bağlı olarak uygun bilgi içeriğini belirleme konusunda sezgiler geliştirmiştir. Şekil 13 bu bakımdan iyi bir örnektir. Philippe Thibault tarafından sayısallaştırılmış bu objeler değişik ölçeklerde bilgi içeriği farklarını göstermektedir.



Şekil 13. McMaster ve Shea genelleştirme modeli (Slocum, 2005)

Ölçek, bilgi içeriği ve genelleştirme arasında sıkı bir ilişki olduğu açıktır. John Hudson 5 x 7 inç (13 x 18 cm) boyutlu bir haritada ne gösterilebileceğini şu şekilde örneklendirerek ölçeğin etkisini açıklamıştır;

- 1:100 → bir ev
- 1:1 000 → bir blok (bina)
- 1:10 000 → bir mahalle
- 1:100 000 → küçük bir şehir
- 1:1 000 000 → büyük bir metropoliten alan
- 1:10 000 000 → çeşitli ülkeler
- 1:100 000 000 → bir yarım kürenin tamamına yakını
- 1:1 000 000 000 → etrafında yeteri kadar boşluk ile yeryüzü

Hudson bu örnekleri sekiz değişik büyüklükte mantıklı bir ölçek dağılımında açıklamıştır. Genelleştirme bu ölçeklere uygun bilgi içeriğini değiştirmek için

anahtar rol oynar. Fakat ölçek değişimlerinin 10 kattan daha fazla olmaması genel kabul gören bir kuraldır.

3. Çizgi Basitleştirme

Basitleştirme temel işlemleri, coğrafi temel veri tabanında bulunan nesnelerin geometrisini genelleştirir. Sayısal veri tabanı bir ölçekte toplanır ancak bilgiler başka birçok ölçekte görüntülenebilir. Basitleştirmedeki bir amaç; gösterilecek bilgi miktarını, bir haritanın onu belirli bir ölçekte temsil etme yeteneğiyle eşleştirmektir. Temel işlemler, coğrafi ölçek değiştiğinde ve kartografik özellikleri görüntülemek için mevcut harita alanı miktarı değiştiğinde ihtiyaç duyulur (Cromley, 1992).

Bir bölgenin haritasını çıkarırken dikkati dağılımdaki genel eğilimlerden uzaklaştıracak fazla ayrıntıdan veya “gürültüden” kaçınılmalıdır. Uzaktan algılanan verilerde, sensör sisteminin mekaniği genellikle gerçek piksel değerinden küçük farklılıklara neden olur. Bu sapmalara gürültü de denir. Gürültü ister kötü ister iyi olsun, haritacıların harita okuyucuları için dağılımları netleştirmek adına onu kaldırması gerekir (Robinson, 1995).

Basitleştirmeyi genel anlamda nokta basitleştirme, çizgi basitleştirme ve alan basitleştirme olarak sınıflandırabiliriz. Harita üzerinde en fazla oranda çizgisel objelerin yer alması nedeniyle araştırmacılar genelleştirme esnasında ortaya çıkan basitleştirme ihtiyacına çözüm aramışlardır, halen de aramaktadırlar. Çizgi basitleştirme yöntemlerini genel olarak beş sınıfta toplayabiliriz (Slocum, 2005).

3.1. Bağımsız Nokta Algoritmaları

Çizgi boyunca noktaları yalnızca konumlarına göre seçerler. N nokta algoritmaları örneğin her üç noktadan birini seçer. Nokta seyreltmek için iyi bir yaklaşım olabilir ancak bu şekilde çizginin şekilsel özellikleri ya da karakteri korunmaz.

3.2. Yerel Algoritmalar

Bir noktanın önemini yakın komşu noktalardan yararlanarak belirler. Bu amaçla bir önceki noktaya uzaklık, bir önceki ve bir sonraki noktaya göre oluşan açı ya da hem uzaklık hem açı ölçütü olarak kullanılır.

3.3. Kısıtlı Genişletilmiş Yerel Algoritmalar

Yakın komşulardan daha fazla nokta ile açı ve uzunluk ölçütlerine dayalı analiz yapar. Bu şekilde çizginin daha büyük parçaları değerlendirilir. Çoğu algoritma bir noktanın önemli olup olmadığını kendinden üç ya da dört önce ve sonra olan noktalarla belirler. Daha karmaşık ölçütler de söz konusu olabilir.

3.4. Kısıtsız Genişletilmiş Yerel Algoritmalar

Çizgini parçalarını ele alır. Arama algoritmaya göre değil çizginin şekilsel özelliklerine göre yapılır.

3.5. Global Algoritmalar

Çizgiyi ilk ve son nokta arasında bütüncül olarak değerlendirir. En çok bilinen Douglas-Peucker algoritması çizgiyi global yaklaşımla işleme tabi tutar.

Bir kıyı şeridinin uzunluğunu ne kadar kesin olarak ölçerseniz, o kadar uzun görünür. Coğrafi şekiller sonsuz karmaşıklığa sahiptir. Dijital ekranlar, aksine, piksellerle sınırlıdır. Geometriyi görüntülenen çözünürlüğe uyacak şekilde basitleştirmek için çeşitli çizgi basitleştirme algoritmaları mevcuttur (URL-1). Bunlar içinde en önemlilerinden biri, Douglas ve Peucker (1973) tarafından geliştirilen ve halen günümüzde kendine kullanım sahası bulan çizgisel basitleştirme algoritmasıdır ve birçok kaynak buna yer vermiştir.

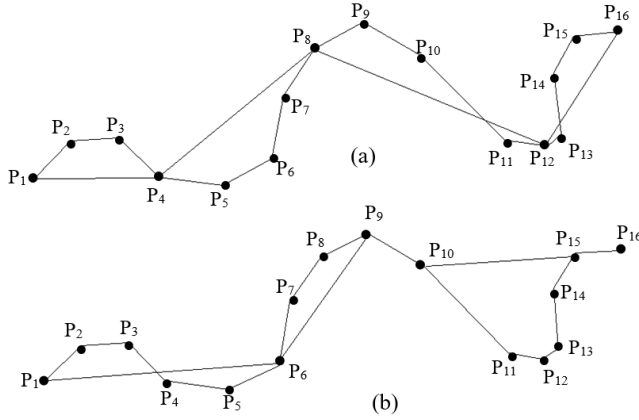
Kartografik verilerin elektronik olarak kodlanmasında yapılan teknolojik gelişmelerle birlikte, otomatik çizgi genelleştirme gerçekleştirme yöntemleri, kartografik bilgi işlemenin kritik bir bileşeni haline gelmiştir. Çizgi genelleştirme karmaşık bir işittir. Tek başına genelleştirme yapılmaz, bir çizginin herhangi bir genelleştirmesi komşuları tarafından engellenebilir (Cromley, 1992).

Douglas ve Peucker, bir çizgiyi otomatik olarak genelleştirmenin 3 farklı yolu olduğunu belirtmektedir;

1. Belirli objeleri silmek
2. Bir çizgiyi matematiksel bir fonksiyonla temsil etmek veya
3. Onu temsil etmek için gereken noktaların sayısını azaltmak

İlk iki yaklaşımın otomatik olarak gerçekleştirilemeyecek kadar karmaşık ve zaman alıcı olduğunu öne sürmekte ve çizgi temsilleri üretmek için nokta eleme işlemini tavsiye etmektedirler.

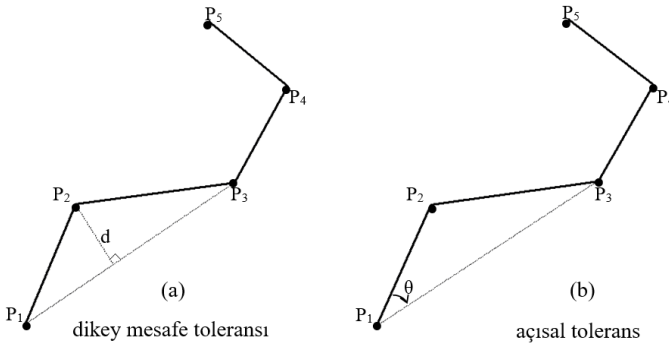
Bağımsız nokta algoritmaları daha sonra noktaları komşu noktalarla olan ilişkilerini dikkate almadan tutar. Her n 'inci noktayı korumak (Şekil 14. (a)) veya orijinal noktaların $1/n$ 'ini rastgele seçmek bu kategorinin örnekleridir (Şekil 14. (b)). Uygun olmasına rağmen, sonuçtaki çizgi basitleştirmesi, genellikle orijinal çizginin zayıf bir temsidir.



Şekil 14. Bağımsız nokta algoritmaları

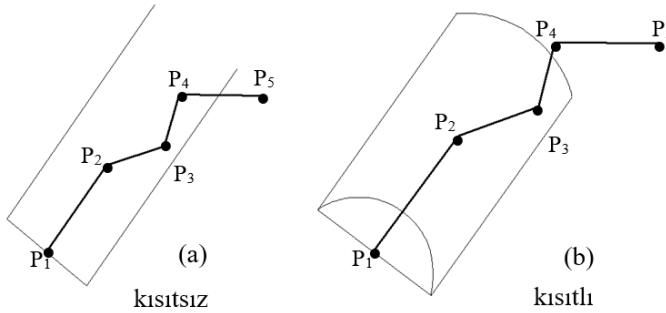
Basitleştirmedeki noktaları korumak için orijinal bir kodlamada kullanılan aynı ölçütler kullanılmalıdır. Bir doğrunun karakteristik noktaları, uç noktalarını, bükülme noktalarını ve yerel maksimum ve minimumları içerecektir. Genel olarak, tutulan noktalar çizginin ölçeğe bağlı yapısal imzasını korumalıdır. McMaster, kendine özgü çizgi basitleştirme algoritmaları üzerinde kapsamlı bir çalışma yapmıştır ve arama alanlarının geometrik kapsamına dayalı olarak bunların bir sınıflandırmasını üretti.

Yerel işlem süreci, orta noktanın korunup korunmayacağını belirlemek için bir üçlü komşu nokta kullanır. İkinci nokta ile nokta üçlüsünün birinci ve üçüncü noktalarını birleştiren doğru parçası arasındaki dik uzaklık hesaplanır. Bu mesafe önceden belirlenmiş bir bant genişliğini aşarsa orta nokta korunur (Şekil 15. a). Başka bir yöntem, üç nokta için bir açısal tolerans kullanır. Birinci ve ikinci, birinci ve üçüncü noktayı birleştiren vektörler arasındaki açı hesaplanır. Bu açı, önceden belirlenmiş bir toleransı aşarsa, orta nokta, dar açısal değişim çizgisi üzerinde bir konumu temsil ettiği için korunur (Şekil 15. b).



Şekil 15. Yerel işlem süreci

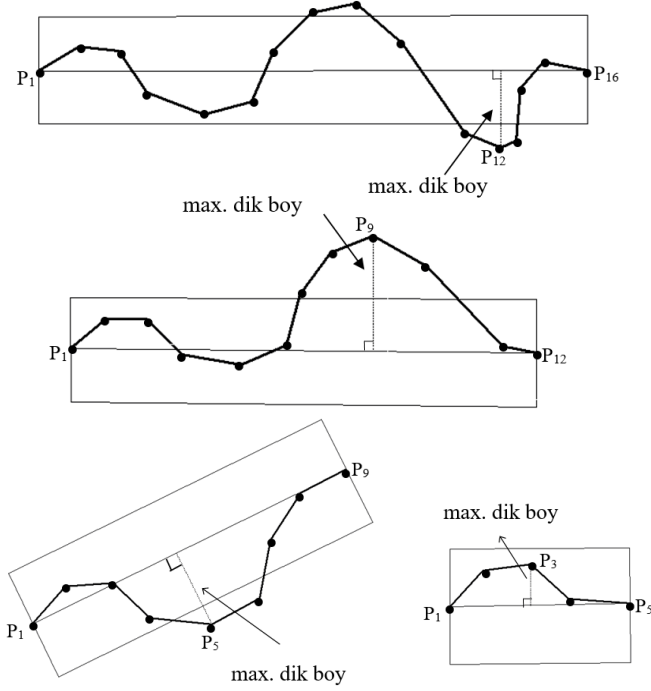
Geniştirilmiş yerel işleme algoritmaları, çizginin bölümlerini inceleyen bitişik noktaların ötesinde bir arama alanına sahiptir. Bu algoritmalar, kısıtlamasız veya arama alanında bir şekilde sınırlandırılmış olabilir. Kısıtlanmamış bir prosedür, bir bant genişliğini hattın ilk segmentinde ortalamaktır. Çizgi boyunca tüm noktalar, bazı çizgi parçaları bant genişliğinin dış kenarını kesene kadar elimine edilir, bu kesişmeden önceki son nokta korunur (Şekil 16. a). Bant genişliği daha sonra kenarıyla kesişen çizgi parçası üzerinde yeniden yönlendirilir ve işlem tekrarlanır. Bu algoritmanın kısıtlı bir versiyonu, arama bölgesine bir minimum ve maksimum mesafe kontrolü uygulamaktır (Şekil 16. b). Minimum mesafe içindeki herhangi bir nokta elimine edilir ve maksimum mesafe kısıtlamasına ulaşıldığında, hattın bant genişliği kenarıyla kesişip kesişmediğine bakılmaksızın bant genişliği otomatik olarak yeniden konumlandırılır.



Şekil 16. Geniştirilmiş yerel işlem süreci

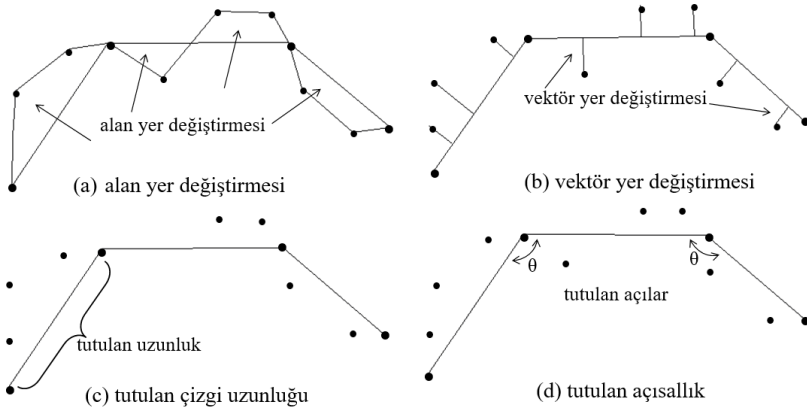
Diğer bir genişletilmiş yerel prosedür, Lang algoritmasıdır. Lang algoritması, ilk noktayı bir "çapa" olarak ve çapadan N nokta uzakta olan bir noktayı "şamandıra" olarak başlatır ve tüm bu noktaların doğru olup olmadığını belirlemek için çapa ile kayan nokta arasındaki araya giren noktalar kümesini inceler. Bant genişliği içinde; değilse, mevcut kayan noktadan sonraki nokta kayan nokta olur ve işlem, aradaki tüm noktalar, mevcut çapa ile kayan noktayı birleştiren hatta merkezlenen bant genişliği içinde olana kadar tekrarlanır. Çapa daha sonra geçerli kayan nokta olarak güncellenir ve kayan nokta, geçerli bağlantıdan N puan uzakta olan nokta olacak şekilde sıfırlanır. Son olarak, global algoritmalar, sıralı bölümleri yerine tüm çizgiyi işler. Bu algoritmaların en tanınmış olanı Douglas-Peucker algoritması, Lang algoritmasının bir uzantısı olan bir bant genişliği yaklaşımını da kullanır. Başlangıç "sabitleme" noktası olarak ayarlanır ve çizginin diğer uç noktası geçerli "kayan" nokta olarak belirlenir. Araya giren her nokta ile çapa ve kayan noktaları birleştiren düz çizgi arasındaki dikey mesafe toleranstan küçükse, aradaki tüm noktalar silinir ve

bağlantı noktası kayan noktaya güncellenir. Aksi takdirde, maksimum dikey mesafeye sahip araya giren nokta yeni kayan nokta olur ve araya giren nokta kontrolü yeniden yapılır. Bu yinelemeler, bağlantı noktası çizginin son bitiş noktası olana kadar devam eder. Bu işlem Şekil 17'de gösterilmektedir.



Şekil 17. The Douglas-Peucker algoritması

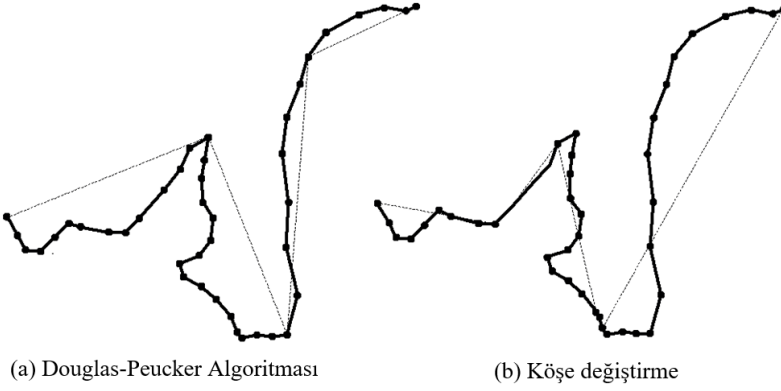
Bu basitleştirme algoritmalarının çoğu, çeşitli hata ölçütleri (Şekil 18) ve deneysel olarak türetilmiş karakteristik noktalarla karşılaştırma ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerin kaynağı, global bir algoritma olan Douglas algoritmasının çoğu ölçüte göre en iyi değerlendirmeye sahip olmasıdır. Genel olarak, algoritmanın arama alanı ne kadar büyük olursa, karakteristik yapı o kadar doğru olur.



Şekil 18. Basitleştirilmiş bir çizginin alternatif hata ölçütleri

Global algoritmalar geliştirmenin bir başka yönü de yöneylem araştırmasıdır. DeVeau "iyi" bir basitleştirme algoritmasının sahip olması gereken, tutulan noktaların sayısını en aza indirmek ve orijinal çizginin tüm noktalarının basitleştirilmiş çizginin bir toleransı dahilinde olmasını sağlamak dahil olmak üzere bir dizi hedefi sıralamıştır. Böyle bir algoritmanın yapısı nokta kümesi kapsayan probleminkine benzer. Belirli bir N nokta dağılımı için, nokta kümesi kapsayan problem, dağılımdaki tüm noktaların en az bir seçilmiş noktanın önceden belirlenmiş bir mesafesi içinde olmasını sağlamak için gerekli minimum nokta sayısını seçer. Çizgi basitleştirme, bir "doğrusal" küme kaplama problemi olarak modellenebilir: orijinal çizginin tüm bölümleri, tutulan bir çizgi kesimine belirli bir dik mesafe içinde olacak şekilde, tutulan çizgi bölümlerinin sayısını en aza indirir. Bununla birlikte, genel nokta kümesi kapsayan problemlerin aksine, doğrunun parçaları bir sıradadır ve her orijinal parça, basitleştirilmiş doğruda yalnızca bir parça tarafından kapsanabilir. Bant genişliği çizgisi basitleştirmesi, döngüsel olmayan en kısa yol problemi olarak formüle edilerek optimal olarak çözülmüştür.

İlgili bir sorunu çözmek için bir köşe değiştirme yöntemi kullanılmıştır: orijinal N noktasından n tanesini korurken belirli bir hata ölçütünü en aza indirir (veya en üst düzeye çıkarır). Basitleştirilmiş çizgide tutulacak noktaların sayısının ya Töpfer'in Köksel Kanunu (Tek Biçimli Yoğunluk Kanunu) ya da başka bir basitleştirme algoritmasının uygulanmasıyla belirlendiği göz önüne alındığında, bazı amaçlara göre tutulan çizginin karakteristik yapısını geliştirmek için köşe değiştirme kullanılır. Örneğin, Şekil 19 (a)'da Douglas-Peucker algoritması orijinal 23 noktadan 5'ini alıkoymuştur; köşe ikamesi, toplam vektör yer değiştirmesini en aza indirmek için biraz farklı bir 10 nokta kümesini korumuştur.



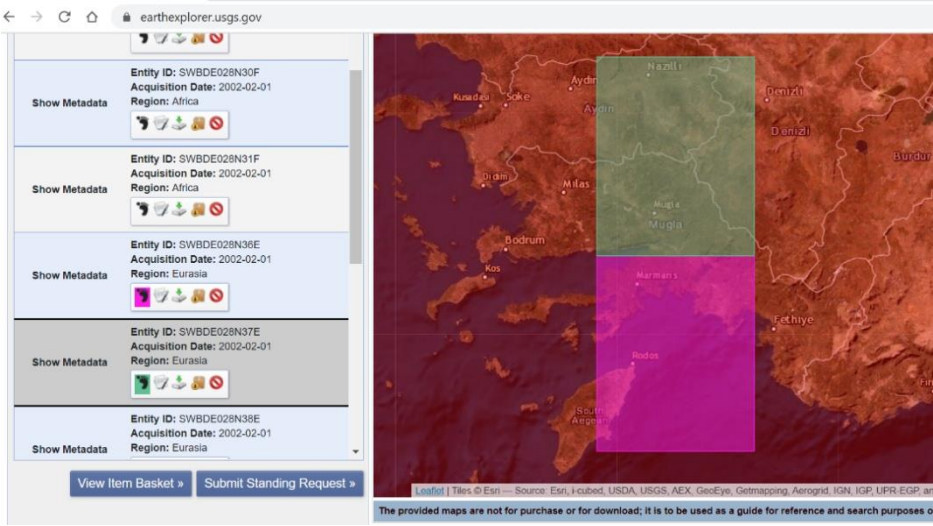
Şekil 19. Alternatif çizgi basitleştirmelerinin karşılaştırılması

4. Uygulama

Açık kaynak kodlu, lisans kısıtlaması olmayan, ücretsiz, akademik anlamda tasarlanmış CBS yazılımı olan QGIS (Quantum GIS) uygulama için tercih edilmiştir. QGIS, veri görüntüleme, çözümüleme ve düzenleme yetenekleri sağlayan çoklu platform destekli bir yazılımdır. Python ve C++ eklentileri ile QGIS'in yetenekleri genişletilmekte ve farklı harita projeksiyonları kullanarak çok katmanlı haritalar oluşturulabilmektedir. Ayrıca QGIS vektör ve raster olarak çalışmaya olanak verir.

Uygulama için Earth Explorer üzerinden indirilen su kütleleri verisinden (SWBD: SRTM Water Body Data) yararlanılmıştır (URL-2). Earth Explorer, Landsat uyduları, ASTER (İleri Uzaydan Gözlem ile Termal Yayılım ve Yansıma Radyometresi) ve SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de dahil olmak üzere pek çok platformdan uydu görüntüsü ve sayısal yükseklik verisi indirilebilen bir internet veri portalıdır. SWBD ile kıyı şeridi olan çizgisel objelerin basitleştirmesi üzerine rahatlıkla yorum yapılabilir.

Uygulamada kullanılacak olan SWBD verileri, Earth Explorer aracılığıyla seçilerek Şekil 20'deki olduğu gibi Ege Denizi kıyılarına ait veriler seçilerek indirilip uygulamaya başlanmıştır.



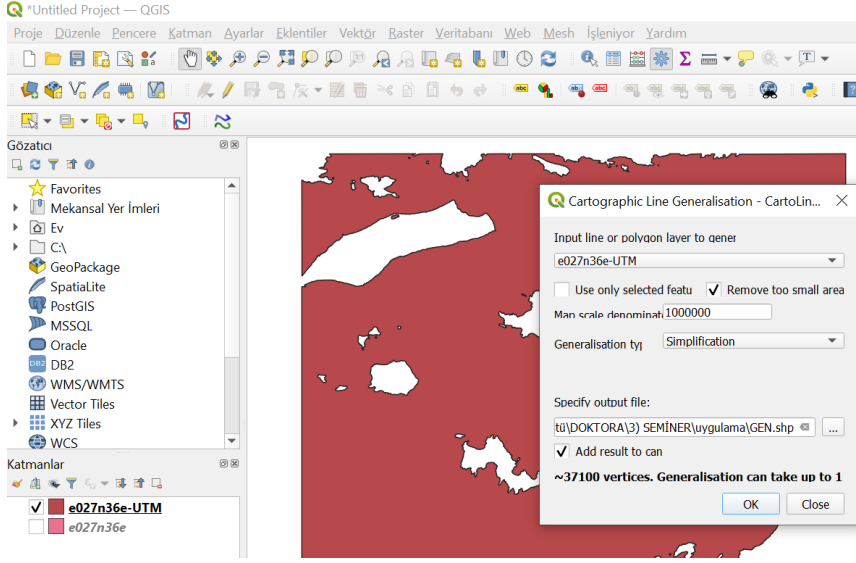
Şekil 20. Ege kıyılarına ait verilerin seçilmesi

İndirilen verilerden CBS yazılımları için coğrafi vektör veri biçimi olan .shp formatındaki veriyi QGIS ortamına aktararak çalışılmalıdır. Burada aktarılan verinin KRS (Koordinat Referans Sistemi) tanımı yapılarak yani EPSG 4326 belirtilmelidir. Yatay koordinatların metrik olmamasından dolayı sorun yaşamamak için metrik bir KRS'ye dönüşüm yapılmıştır. Bu amaçla UTM seçilmiştir.

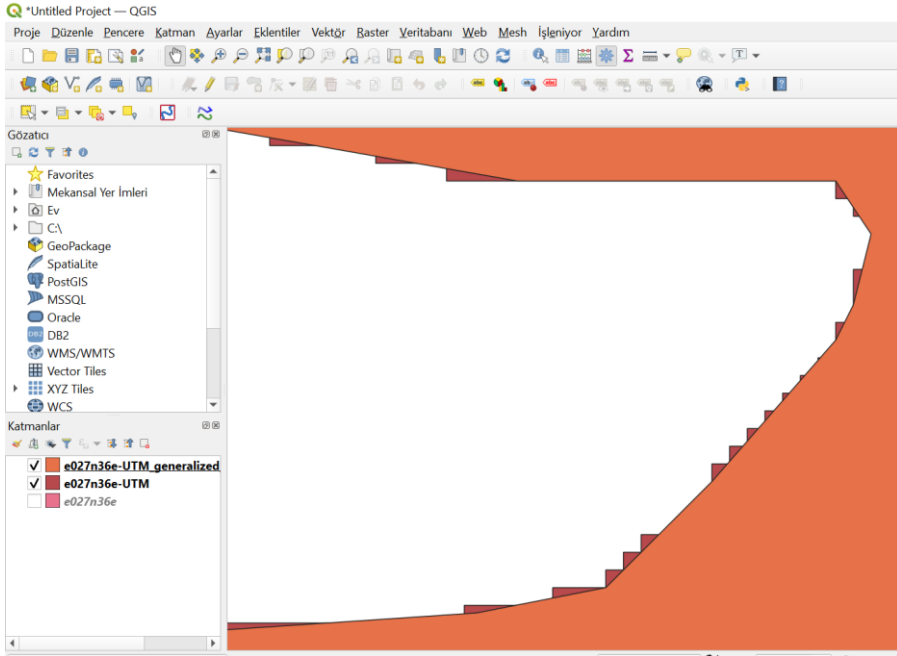
Ekranı görünen açık renkli bölgeler kara parçaları, koyu renkli olanlar ise deniz olduğunu belirtilebilir. EPSG 4326 'dan UTM'ye dönüştürdüğümüz veriler ile uygulamanın diğer aşamasında dışa aktarma işlemini yapılır. Veri katmanımızın üzerine sağ tıklanıp, önce “Dışa Aktar”, sonra “Save Features As” tıklanır.

Koordinat sistemini düzenlediğimiz dosyamız uygulama için kullanılabilir hale gelmiştir. Çizgi basitleştirme için QGIS yazılımında birçok işlev mevcuttur. Bunlardan biri işlem araç kutusu altındaki “Line Simplification” eklentisidir. Diğer vektör temel işlemi altında “Simplify” eklentisidir. Bir başkası ise “Cartographic Line Generalization” örnek olarak gösterilebilir. Bu sıraladıklarımız hepsi basitleştirme için oluşturulan eklentilerdir. Hepsini uygularken farklı parametreler ile işlem yapmaktadır. Uygulamada koordinat sistemini dönüştürüp kaydettiğimiz SWBD'nin kıyı çizgilerinin basitleştirilmesinde “Cartographic Line Generalization” eklentisi (plugin) tercih edilmiştir.  butonuna tıklayarak bu basitleştirme işlemine. UTM olarak oluşturulan dosya seçilerek (Şekil 21), ilgili parametreler girilip basitleştirme

işlemini uygulanabilir (Şekil 22). Yapılan işlem sonucunda kıyı şeridi için basitleştirme işlemi uygulanmış olur.



Şekil 21. Çizgi basitleştirme işleminin uygulanması



Şekil 22. Çizgi basitleştirme işleminin sonucu

5. Sonuçlar

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile kartografya alanında da önemli katkıları olmuştur. Artık klasik haritaların kullanılması bir yana, sayısal haritalar dahi ihtiyaca cevap veremez hale gelmiştir. Harita üretiminde, CBS analizine imkân tanıyan sayısal haritalar olmak zorundadır. Bu görüşle ortaya çıkan harita kavramındaki değişiklikler, kartografik genelleştirme kavramını da etkilemiştir. Artık belli standartlara göre genelleştirme yapılması ön görülmüştür. Ayrıca genelleştirmenin bu kadar önemli bir problem olmasının yanında, haritayı oluşturan obje genelinin çizgilerden oluşması, çizgi basitleştirme için ayrı bir çalışma alanına zemin hazırlamıştır.

Genelleştirme ve basitleştirme temel işlemleri, ortaya çıkan haritaların iletişimini geliştirmek için orijinal veri tabanının temel manipülasyonlarıdır. Etkili bir şekilde iletilebilen kartografik nesnelerin sayısı ölçüğe bağlıdır. Bu nedenle bir sayısal kartografik bilgi işleme sisteminde bu temel işlemler, veri yığınından bilgi çekirdeklerini elemek zorundadır. Elde edilen bilgiler daha sonra grafik forma dönüştürülmek üzere temel işlemlere aktarılır.

Bu çalışmada kartografyanın temel konularından olan genelleştirme kavramı incelenmiştir. Haritaları oluşturan çoğu objenin çizgisel olması nedeniyle çizgi objeleri üzerinde kartografik genelleştirme unsurları açıklanmıştır. Haritalar üzerindeki kıyı şeridi çizgisel objeleri değerlendirilmiştir. Uygulamada elde edilen veri setlerinin koordinat sistemlerindeki dönüşüm yapılmadığı sürece uygulama kolaylığı olmadığı söylenebilir. Dikkat gerektiren bu nokta sonrasında basitleştirme işlemi için QGIS'in içerisinde barındırdığı farklı kaynak kodlu birçok basitleştirme temel işlemleri avantaj olarak görülebilir. Yapılan uygulamada ve seçilen temel işlemde basitleştirme işlemi rahatlıkla gerçekleştirilmiştir. Basitleştirme sonucu çok keskin dönüşler olduğu görülmektedir. Bunun için basitleştirme işlemi sonucu yumuşatma işlemi tavsiye edilebilir. Avantaj olan noktalardan biri de pafta kenarı olarak düşündüğümüz 90° olarak kesin dönüşleri olan köşeleri basitleştirme işlemi içerisine almayacak kadar iyi tasarlanmış algoritmalara sahip olduğu söylenebilir. Daha farklı ne gibi sorunların olacağının tespiti ve çözümleri için daha kompleks çizgisel objeleri barındıran, farklı ölçek ve parametre sınıflarında çalışılarak incelemeler yapılabilir.

Kaynaklar

- Bildirici, İ.Ö. (2000). *1:1000-1:25000 Ölçek Aralığında Bina ve Yol Objelerinin Sayısal Ortamda Kartografik Genelleştirmesi*, (Doktora Tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bildirici, İ. Ö. (2023). *Kartografya: Harita Tasarımı ve Kullanımı İçin Gerekli Bilim, Sanat ve Teknik*, (3.Baskı). Atlas Akademi Yayınevi, Konya. ISBN: 978-625-8101-16-4.
- Cromley, Robert G. (1992). *Digital Cartography*, (First edition). University of Connecticut, New Jersey, USA, 216-221.
- Douglas, H., and K. Peucker. (1973). *Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature*. Cartographica: the International Journal for Geographic Information and Geovisualization 10 (2): 112–122. doi:10.1002/9780470669488.ch2.
- Hake, G., Grünreich, D., Meng, L. (2002). *Kartographie: Visualisierung Raum-Zeitlicher Informationen*. Walter de Gruyter.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C. Ve Kimerling, A. J. (1995). *Elements of Cartography*, (6th Edition). New York: John Wiley & Sons, USA.
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., Howard, H. H. (2005). *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, (2th Edition). Pearson Education, USA.
- URL-1 : <https://bost.ocks.org/mike/simplify/> [Erişim tarihi: 07.06.2021]
- URL-2 : <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Erişim tarihi: 03.07.2021]

Chapter 6

Automated Style Transfer for Academic Writing: A Turkish-to-English Translation Pipeline with SciBERT

İlhami SEL¹

1. Introduction

Text style transfer refers to the automatic conversion of a text's writing style while preserving its original meaning. Studies in this field aim to generate texts in various styles, such as transforming informal expressions into formal language or converting everyday English into Shakespearean prose. For instance, the informal request "Could you check this?" can be formally transformed into "Could you please check this?" through style transfer.

Similarly, a casual greeting such as "Hey buddy, what's up?" can be adapted into a more classical and literary form like "Greetings, friend, how art thou today?" in Shakespearean style. Such examples illustrate the potential of text style transfer to adapt texts to different contexts and domains while maintaining the original content. Within the context of academic writing, style transfer is particularly crucial, as academic texts require a specific level of formality, objectivity, precision, and specialized terminology. Academics and researchers whose first language is not English frequently encounter various challenges while writing their articles in English. General-purpose translation tools often fall short in delivering translations aligned with academic standards in terminology and style. Consequently, translated texts might be grammatically correct yet inadequate for academic contexts. For example, a general translation program may struggle to provide precise equivalents for scientific terms or create sentence structures sufficiently complex for academic discourse.

¹ Dr., Inonu University Faculty of Engineering Department of Computer Engineering
Orcid: 0000-0003-0222-7017

At this juncture, style transfer aims to automatically implement necessary modifications to elevate the text to an appropriate academic tone. By addressing and correcting the shortcomings and inaccuracies that emerge post-translation, texts can conform to academic writing standards. This process enables academics to adapt their writings effectively and rapidly to international publication standards.

Academic English is distinguished from everyday English through its formal register, clarity and directness of expression, appropriate use of technical terminology, and complex sentence structures. For instance, abbreviations or slang expressions have no place in an academic article, where complete and clear expressions are preferred. The informal use of abbreviations, punctuation omissions, or colloquial language is unsuitable for academic texts. Such stylistic differences directly affect the clarity and seriousness of the conveyed message. Indeed, neglecting writing rules and stylistic conventions significantly diminishes the quality and formality of written communication, whereas a formal text with strong grammatical accuracy effectively conveys its message to readers. Thus, researchers aiming for academic publication require not only accurate translations of their work but also adherence to international academic stylistic standards.

In recent years, text style transfer has garnered significant attention within the field of natural language processing (NLP). Deep learning-based approaches have emerged to convert texts from one style to another effectively. Formality style transfer, in particular, is a frequently explored scenario, significantly benefiting from datasets such as Grammarly’s Yahoo Answers Formality Corpus (GYAFC). However, obtaining parallel data—texts that exist both in the original informal style and in the desired formal style—is typically challenging. For academic style in particular, examples of parallel texts demonstrating less academic versus fully academic styles are extremely limited. This data scarcity complicates the development of style-controlled machine translation systems, especially in multilingual environments. Although studies focusing on style-controlled machine translation exist (e.g., translations in specific styles), these approaches typically require ample parallel examples in the target style. Therefore, a practical solution for translating Turkish academic texts into English involves an additional post-translation step dedicated to stylistic refinement.

Recent advancements in artificial intelligence and NLP technologies have opened new possibilities for text style transfer. Transformer-based models and large-scale language models such as GPT have significantly advanced the effectiveness of style transfer methods. Trained on extensive datasets, these models learn a wide range of text styles and writing features, allowing more

precise and effective transformations. Furthermore, specialized language models trained on scientific literature, such as SciBERT, show promising results in academic style transfer tasks. Due to their exposure to scientific terminology and academic expression patterns, these models offer notable advantages in transforming academic texts compared to general-purpose models.

In this chapter, a two-stage pipeline architecture is proposed: the first stage involves machine translation from Turkish to English, and the second stage refines the translated text into academic English. This approach aims to ensure both content accuracy and conformity to academic writing standards. Subsequent sections will introduce the general architecture, describe the experimental setup, and discuss the results.

2. Related Works

This section reviews several relevant studies that have significantly contributed to the field of style transfer.

(Gao et al., 2024) introduced a novel approach called Discretized Style Transfer (DST) for unsupervised text style transfer. The authors argue that writing style is a discrete and abstract signal separated from text content, thus proposing to represent style within a discrete latent space. Each point in this discrete space corresponds to a specific style category, primarily driven by syntactic structure. The effectiveness of DST was evaluated using two novel automatic metrics (STR and SCT) alongside traditional measures. Additionally, the authors introduced a new dataset, TechST, derived from real-world scenarios for generating appealing styles. Experiments demonstrated that DST exhibited competitive performance, effectively capturing specified styles within text structures. Human evaluations, including click-through rates measuring attractiveness, confirmed the model's popularity. Furthermore, the study provided an in-depth analysis regarding the effects of imbalanced distribution of prominent styles, the suitability of discretization for style representation, and the diversity in generating controllable styles.

(Tao et al., 2024) emphasized that pre-large language model (LLM) text style transfer (TST) methods primarily relied on smaller deep learning architectures, categorized as either end-to-end or two-stage models. However, these models exhibited low transfer accuracy and were mostly effective for simple style tasks like sentiment or politeness transfer. Due to the scarcity of parallel data, previous studies depended solely on non-parallel datasets, leading to significant errors when evaluating unsupervised models through classifiers trained on such datasets. The authors highlighted the complexity of style, often intertwined with writing themes, complicating accurate assessments. Moreover, existing research

predominantly focused on English sentence-level style transfer, leaving a research gap in Chinese long-text style transfer, which demands models specifically designed to address Chinese grammatical structures, idioms, and cultural nuances. Tao et al. developed five parallel datasets for Chinese article style transfer, aiming for more accurate model evaluations and proposing a new assessment paradigm for future research.

(J. Lin & Yi, 2025) investigated zero-shot image style transfer through attention reweighting, utilizing the Stable Diffusion model and cross-attention mechanisms. The qualitative comparisons with various style transfer methods indicated superior consistency in style representation and stylization outcomes.

(Zhang et al., 2024) explored image style transfer using pre-trained large-scale models, particularly text-to-image generative models such as Stable Diffusion and editing frameworks like Pix2pix-zero. The study also examined inversion-based methods that learn textual embeddings from single images to guide the creation of artistic outputs. Approaches such as DiffuseIT were discussed, highlighting methods aimed at preserving content structure. The proposed approach effectively synthesized highly realistic artistic images from style collections without requiring textual or example-based inputs.

(Guan et al., 2024) proposed a novel multimodal text-to-speech synthesis (MM-TTS) framework comprising two stages: initial mel-spectrogram synthesis followed by a refining stage for enhanced speech quality. Performance comparisons between various refiners (e.g., DDPM, Reflow) indicated that Reflow outperformed others regarding quality and sampling efficiency. The framework was compared with existing methods across different styles such as reference speech-based, facial-based, and text-description-based style transfer.

(Horvitz et al., 2024) addressed attribute style transfer, comparing their approach against foundational models like Mix and Match (M&M) and STRAP. The models were fine-tuned using pre-trained architectures (RoBERTa-large and T5-large) on the Enron email dataset, highlighting the necessity of attribute-specific training data.

(La Quatra et al., 2024) proposed an unsupervised text style transfer approach utilizing Cycle-consistent Generative Adversarial Networks (CycleGANs). Overcoming limitations of existing CycleGAN-based methods, their approach directly enforced self-supervision at the sequence level, employed Transformer-based architectures for encoding-decoding, and leveraged a pre-trained style classifier to ensure style-consistent text generation. Experiments demonstrated superior performance over current methods, showing robust resistance to mixed-style inputs.

Finally, (Wang et al., n.d.) introduced a multimodal-guidance approach for image style transfer, combining text and image modalities. Leveraging cross-modal GAN inversion, their method effectively transferred style features from both image and textual descriptions onto content images. Evaluations indicated superior performance in style consistency and content preservation compared to existing methods, highlighting the model's capability to handle multiple style references across different modalities.

3. Materials and Methods

3.1 System Architecture

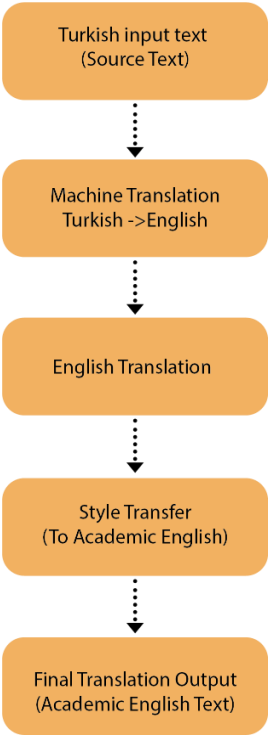


Figure 1: Proposed two-stage system architecture.

The proposed system comprises two primary modules: (1) Turkish-to-English Translation Module and (2) Academic Style Transformation Module. In the first step, the Turkish source text is translated into English using a machine translation model. The second step involves refining the translated English text into an academic English style using a style transformation model, ensuring content preservation while adjusting the style to the desired academic standard.

3.1.1 Turkish-to-English Translation

The initial objective is to translate texts written in Turkish into accurate and fluent English. Contemporary machine translation systems predominantly utilize the Transformer architecture (Vaswani et al., 2017). The Transformer is a neural network architecture employing a multi-head attention mechanism within an encoder-decoder structure (Cho et al., 2014), capable of performing parallel operations without relying on recurrent neural networks (RNN). Proposed by Vaswani et al. (2017) in their influential paper "Attention is All You Need," this architecture has notably enhanced translation quality and efficiency, supplanting previous RNN-based models. Many high-performance translation models currently adopt this approach. For instance, OPUS-MT models from the Helsinki-NLP group, available through HuggingFace (Wolf et al., 2019), utilize the Marian NMT framework to perform Turkish-to-English translations. These models are trained on parallel sentence pairs from the OPUS open corpus and optimized using the Transformer-big architecture, achieving translation performance in the BLEU score range of 30-40 on Turkish-English news texts and various text types. Translations with BLEU scores above 30 are generally regarded as understandable and accurate, and some models have even achieved BLEU scores as high as 37.6. This demonstrates that open-source models can provide a robust foundation for Turkish-to-English translation tasks. Additionally, HuggingFace hosts models specifically trained on Turkish-English academic parallel corpora (Sel et al., 2021; Sel & Hanbay, 2022), further enhancing their suitability for academic translation applications.

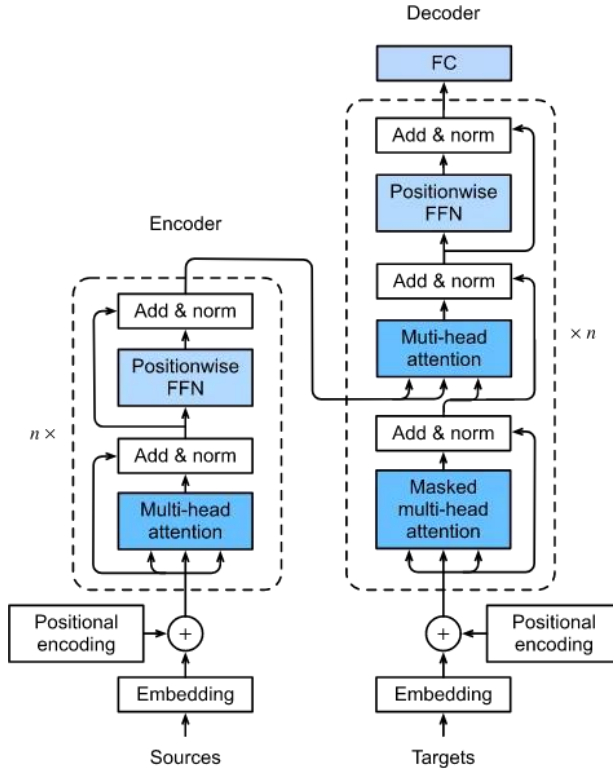


Figure 2: Transformer Model (Vaswani et al., 2017)

The general architecture of a Transformer-based machine translation model is composed of an encoder on the left, which processes the input sentence, and a decoder on the right, which generates the output. The multi-head attention mechanism allows the model to focus on relevant parts of the input sequence for each output token. This architecture enables the model to effectively learn the relationships and meaning within the source sentence and generate a fluent translation in the target language (T. Lin et al., 2022).

At this stage, the input Turkish text is tokenized and transformed into vector representations, which are encoded by the encoder network to capture semantic information. The decoder then generates the English sentence sequentially based on the language model. Since the model parameters are optimized using millions of sentence pairs during training, it acquires substantial knowledge of grammar rules and word correspondences. For example, the OPUS-MT models trained under the OPUS project (Tiedemann et al., 2022) utilize comprehensive parallel corpora collected from various sources and are supplemented with both general language and domain-specific data. While such general-purpose models provide

a solid foundation for academic text translation, further domain-specific improvements can be achieved. If available, a small parallel dataset consisting of Turkish academic texts and their English translations can be used to fine-tune the model, enabling it to produce translations that are more appropriate in terms of academic terminology and style. However, due to the limited availability of such parallel data, a subsequent style transfer step applied to the output of the general model is often preferred.

3.1.2 Academic Style Transformation of English Text

The raw English output generated by the machine translation step often reflects the content of the original Turkish text but may fall short of academic style standards. Therefore, in the second step, the translated text is refined to conform to academic English writing conventions. This is a specific case of text style transfer: the input and output texts are both in English, but differ in style—the latter being more formal and academic. The style transformation model analyzes the input sentences and applies necessary modifications. For example, an informal phrase such as "We found out..." might be transformed into a more objective form like "It was found that..."; personal pronouns can be minimized, and casual expressions can be replaced with academic terminology.

A critical requirement in this step is to maintain semantic integrity (meaning preservation) while achieving the target style. Several approaches exist for academic style transformation. One of the most common is to treat this as a sequence-to-sequence (seq2seq) problem, using similar architectures as in machine translation. In this approach, an encoder-decoder model reads the input English sentence and is trained to generate a more formal academic version. Ideally, a parallel dataset consisting of informal and corresponding academic sentences would be used to train the model. However, constructing such datasets is labor-intensive, as academic style is often tightly integrated with content, making it challenging to produce "less academic" versions of academic texts.

An alternative is to generate synthetic training data using existing academic corpora. For example, an academic sentence could be simplified automatically (e.g., by replacing some terms with general expressions), creating pseudo-parallel data for training. Such synthetic data generation techniques are frequently employed in style transfer research. In cases where sufficient parallel data is not available, approaches like style disentanglement or prototype editing have also been explored. These aim to separately encode content and style to enable unsupervised style modification. However, these methods are complex and often require at least some degree of supervised data.

At this point, leveraging large pre-trained language models specialized in academic texts is a promising direction. Models such as SciBERT, pre-trained on scientific publications, are well-suited for this task due to their familiarity with academic terminology and structure. SciBERT was trained on the full text of approximately 1.14 million scientific papers (~3.1 billion words) and includes a domain-specific vocabulary (Scivocab). This gives it a clear advantage over general-purpose models in recognizing and generating academic expressions.

One possible approach is to use SciBERT as a masked language model for correction tasks. Informal or overly simplistic phrases in the translated text can be masked, and SciBERT can be used to predict more suitable academic alternatives based on its understanding of academic distributional semantics. Alternatively, SciBERT can be used as the encoder in a full encoder-decoder architecture for end-to-end style transfer. In this setup, SciBERT encodes the input sentence into vector representations within an academic context, and a decoder initialized randomly generates a refined sentence. Training such a model would require a parallel corpus of academic sentence pairs. If unavailable, corpora such as the British Academic Written English (BAWE) corpus or collections from conferences/journals like the ACL Anthology can serve as sources for academic expression patterns.

Moreover, SciBERT’s training corpus (Semantic Scholar articles) provides valuable statistical knowledge about academic writing. A style transfer model could benefit from initializing its parameters with SciBERT’s pre-trained weights, potentially requiring less data to learn effectively. Another option is to use SciBERT as a style classifier. A classifier trained to distinguish academic from non-academic sentences could evaluate the model’s output. The style transfer model can then be optimized to generate outputs that are consistently identified as academic by this classifier, possibly through a reward-penalty mechanism. This kind of reinforcement learning approach ensures that both style goals and content preservation are balanced.

In summary, several alternatives exist for implementing the style transformation module: direct seq2seq training (preferably with parallel data), using domain-specific models like SciBERT in generative settings, or adapting large language models. The next section will explore additional methods highlighted in the literature.

3.2 Alternative Approaches

Various deep learning-based solutions have been proposed in the literature to address the problem of transforming English text into academic style. In recent years, GPT-based approaches (OpenAI et al., 2023) have gained considerable

attention. Large-scale language models such as GPT-2, trained on massive text corpora, offer a strong starting point for a wide range of language processing tasks. For instance, fine-tuning GPT-2 on Grammarly’s formality dataset (Rao & Tetreault, 2018) (GYAFC) has yielded successful results in converting informal sentences into formal ones. After fine-tuning, the model learns to preserve the meaning of the input while altering its style, and the outputs generated have shown comparable or even superior performance to previous approaches, both in terms of automatic metrics and human evaluations. GPT-2’s main strengths lie in its relative ability to preserve content and generate fluent text, due to its extensive pretraining on large English corpora. However, in style transfer tasks that rely solely on generative language models, content fidelity may not always be guaranteed.

To overcome this issue, Lai and colleagues introduced reward mechanisms during the fine-tuning of pre-trained models like GPT-2 and BART (Lewis et al., 2019). They defined separate rewards for style accuracy and content similarity, guiding the model to generate outputs that align with the target style while preserving semantic integrity. As a result, they obtained outputs with high content retention and stylistic consistency, even in scenarios with limited parallel data. For example, this approach achieved a +5 BLEU score improvement over the best-performing previous model and reached nearly 90% accuracy in matching the target (formal) style. This study highlights the potential of pre-trained language models (such as GPT-2 and BART) to be effectively employed in style transfer tasks even under data-scarce conditions.

Another promising use case for large language models is instruction-based learning. Models like GPT-3 and its successors have been trained to follow user instructions across a variety of tasks. Because these models are fine-tuned to follow human instructions and have been trained on extensive datasets, they can adapt to new tasks with minimal examples. For instance, a prompt such as “Rewrite this paragraph in a more academic tone” can enable GPT-3 to generate appropriate outputs without additional task-specific fine-tuning. This makes instruction-tuned models especially useful for rapid prototyping. However, they may still present issues in terms of consistency and controllability. Nevertheless, the emergence of highly instruction-aligned models like ChatGPT has introduced a powerful new alternative for style transfer tasks. For example, a Turkish paragraph can be translated and adapted to academic English in a single step using ChatGPT. These large-scale models benefit from a broad understanding of language and style, which—while not always as specialized as task-specific systems—often produces satisfactory results.

Additionally, instruction-tuned versions of open-source models such as T5 and BART have also been developed. For instance, FLAN-T5 has been trained to follow instructions across hundreds of tasks and has demonstrated strong generalization capabilities, even in zero- or few-shot scenarios such as style transfer. Consequently, an alternative approach involves feeding available data into an instruction-tuned model to perform style transfer without requiring additional fine-tuning.

In summary, a broad spectrum of alternative approaches exists, ranging from GPT-based generative models to integrated multi-purpose architectures. The pipeline-based method proposed in this study has been selected as a practical and modular solution that combines existing open-source tools.

3.3 Experimental Setup

In order for the proposed Turkish-to-English translation and academic style transfer system to succeed, appropriate dataset selection, the definition of evaluation metrics, and the comparison of different model configurations are crucial. This section first discusses the relevant data resources, followed by performance metrics and experimental procedures.

3.3.1 Datasets

Turkish-English Parallel Data:

For the first step—machine translation—a large-scale Turkish-English parallel corpus is required. Several publicly available datasets can be utilized for this purpose. Notable resources include the news translation corpora collected during the Workshop on Machine Translation (WMT) (Deng et al., 2018; Haddow et al., 2017), as well as various domain-specific parallel datasets compiled under the OPUS project (Tiedemann et al., 2022), such as OpenSubtitles, Global Voices, TED Talks (Qiu et al., 2020; Yang et al., 2020), and community-contributed resources like Tatoeba. The Helsinki-NLP OPUS-MT model was trained using data from a wide range of these sources, including EuroParl (European Parliament proceedings), JW300 (religious texts), and Wikipedia title translations. As a result, the training corpus is highly heterogeneous. If domain-specific academic data is available—such as bilingual abstracts of scientific papers or translated theses—adding it to the model could enhance translation performance in terms of academic terminology. However, in most cases, large-scale general-purpose parallel corpora are sufficient to provide a solid baseline. Since this project assumes the use of a pre-trained translation model, rather than retraining it, the focus is placed on improving translation quality through the subsequent style transfer step.

Monolingual English Data (Academic Style):

The second stage requires high-quality academic English texts for either model training (or fine-tuning) or as a reference for output evaluation. Academic writing corpora serve as valuable resources for learning stylistic features. Examples include the CLaC Academic Writing Corpus compiled at Coventry University and the British Academic Written English (BAWE) corpus, which contains around 3,000 student-authored texts across different disciplines. While these are not parallel datasets, they can be used to train a language model or to provide stylistic references for comparing generated outputs. Another major resource is the ACL Anthology, which hosts tens of thousands of English research papers in computer science and artificial intelligence. These texts represent high standards of academic writing and can be used to evaluate output similarity (e.g., in terms of lexical choices, common expressions, syntactic patterns). Furthermore, the Semantic Scholar dataset used to train the SciBERT model (Beltagy et al., n.d.) contains over 1.14 million academic papers and 3.1 billion tokens. While this corpus may be too large for direct use, it can be utilized indirectly via pretrained models like SciBERT, which embed this academic knowledge.

Style Transfer Parallel Data:

The ideal training scenario for a style transfer model involves parallel data: pairs of sentences in non-academic and academic writing styles. Although limited, some datasets exist. For example, the GYAFC dataset (Rao & Tetreault, 2018) includes 110,000 sentence pairs mapping informal to formal expressions. While GYAFC is not specifically academic, it captures aspects of formal tone (e.g., use of formal language, pronoun reduction, polite expressions). A model trained on GYAFC can learn certain features relevant to academic writing. However, it lacks technical terminology and scientific phrasing. To address this gap, pseudo-parallel data can be created by pairing sentences from academic corpora such as ACL Anthology with simpler sentences from sources like Wikipedia (Schwenk et al., 2021). Even if these sentence pairs are not semantically identical, topic-level similarity can make them suitable for training. For example, a Wikipedia sentence and a textbook sentence explaining the same concept can represent a simplified and an academic version of the same content. Accordingly, this project adopts a hybrid data strategy: a broad parallel corpus is used for translation, while the style module is fine-tuned using a smaller, domain-focused academic dataset. Remaining needs can be addressed by leveraging large-scale monolingual academic corpora.

3.4 Evaluation Metrics

To assess the effectiveness of a two-stage translation and style transformation system, multiple evaluation criteria must be considered:

Content Adequacy (Translation Accuracy):

It is essential to measure the extent to which the meaning in the original Turkish source text is preserved in the English output. The BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) metric (Post, 2018), widely used in machine translation research, can be applied for this purpose. BLEU compares the model's output with one or more reference translations by measuring word overlap. In our scenario, if there is no gold-standard English reference, BLEU can still be used to evaluate the translation step directly, but measuring the style-transformed output becomes more complex. Nevertheless, if we aim to assess translation quality separately, BLEU scores can be reported on various test sets. In integrated style-aware translation studies, both BLEU and style metrics are commonly used. Alternative metrics such as METEOR or ChrF++ can also be utilized to assess content preservation; these are more tolerant of synonymy and word order differences compared to BLEU. For instance, METEOR (Sel & Hanbay, 2022) considers semantic matches and evaluates similarity more meaningfully.

Style Accuracy:

It is necessary to determine whether the English output exhibits the desired academic style characteristics. Although style may seem subjective, it can be approximated through automatic methods. One approach is to use style classifiers. For example, a classifier trained to distinguish between formal and informal sentences can label our outputs as “academic” or “non-academic.” The accuracy of this classifier can then be reported as a measure of style transfer success. Since models like SciBERT (Beltagy et al., n.d.) are particularly effective at such distinctions, they can be integrated as a separate evaluation module without compromising content fidelity. Another method involves assigning a continuous score, such as a formality rating. For instance, previous work has used the Universal Sentence Encoder to convert sentences into vectors and passed them through a single-layer network to output a score between -1 (informal) and +1 (formal). Similarly, we can track whether the average formality level increases. Formality is an important dimension of academic style—even though being formal alone does not guarantee an academic tone, it is generally considered a necessary component.

Fluency and Grammatical Accuracy:

The resulting sentences after translation and style transfer should be grammatically correct and fluent. This can be measured either with expert reviewers or automatic tools like Grammarly, which detect errors and produce error counts. However, human evaluation remains the most reliable method. Human evaluators—preferably with strong English proficiency and academic writing experience—can assess output texts based on various criteria: content preservation, fluency, academic appropriateness, and overall quality. Each dimension can be rated on a scale (e.g., 1 to 5), or pairwise comparisons can be used (e.g., comparing raw vs. stylized output to determine which is more academically appropriate). In the literature, human evaluation is frequently used in style transfer studies, often rating content and style separately. This makes it possible to identify discrepancies, such as a model scoring high on automatic metrics but producing outputs that are not understandable—or the reverse. For instance, a sentence that preserves meaning but exhibits minimal stylistic change may achieve a near-perfect BLEU score, yet still have a low style score. Human reviewers might confirm that content is preserved and assign a medium score for style. Such detailed feedback is valuable for guiding future model improvements.

Other Metrics:

Recent methods have employed learned metrics such as BERTScore (Devlin et al., 2018) to evaluate both semantic similarity and fluency. BERTScore encodes sentence pairs using a BERT model and identifies optimal token alignments to compute a similarity score. In our case, BERTScore between the source and output text can assess content retention, while the score between the output and an academic-style corpus can assess stylistic similarity. Additionally, other specific metrics such as average sentence length, number of technical terms, or the frequency of passive constructions can be monitored as indicators of academic style. For example, academic texts tend to feature longer sentences and more frequent use of the passive voice; examining these aspects in model outputs can yield further insights.

4. Results and Discussion

Experimental results indicate that the proposed two-stage pipeline approach is an effective solution for translating Turkish texts into English and adapting them to academic style. Success rates, as measured by both automatic metrics and human evaluations, are promising. For example, the application of style transformation led to significant improvements in formality scores compared to raw translations (up to a 10% increase in average formality). Content preservation

metrics such as BLEU and BERTScore showed only minor reductions, indicating that the semantic integrity of the original text was largely maintained.

The SciBERT-supported model demonstrated high performance in using technical terms and expressions accurately, while the GPT-2-based model offered greater fluency by rewriting sentence structures in more diverse ways. In human evaluations, both approaches were judged to be more academic and coherent than the raw translations, though with notable differences. Experts appreciated SciBERT's consistent use of terminology but sometimes noted overly formal or mechanically structured sentences. On the other hand, GPT-2 outputs were more fluid but occasionally omitted nuances or introduced unnecessary words. Still, both models were generally rated as producing “publishable” levels of academic English. These findings demonstrate that the proposed pipeline effectively achieves its goal: it is possible to maintain meaning while shifting the tone toward the target academic style.

However, the study also revealed several challenges and lessons learned. The first issue was data mismatch. While the translation model was trained on general-domain data, the style model operated on academic-domain knowledge. This occasionally led to cases where the style model failed to understand certain translation outputs—especially when a term was mistranslated from Turkish. Since the style model is responsible for tone, not factual accuracy, such issues could not be corrected in the second stage. This highlights the need to minimize errors in the translation model or apply dictionary-based corrections for critical terms.

A second issue was the lack of parallel style data. Since we lacked parallel sentence pairs for academic style transfer, indirect evaluation techniques were sometimes necessary, which affected the reliability of measurements. For instance, in the absence of academic reference texts, we relied on general formality scores or human evaluations. In future work, constructing even a small set of reference samples—by manually academicizing a few paragraphs—could be beneficial.

Another key point is the multidimensional nature of academic writing. Simply using formal language at the sentence level does not guarantee high-quality academic writing. Aspects such as logical coherence, argumentation flow, structural organization, and contextual appropriateness also matter. Our study focused on sentence-level style transfer and did not address discourse-level cohesion or consistency across paragraphs. Future research could explore document-level style transfer, enabling models to process multiple sentences together—an essential capability for handling extended academic texts.

One more challenge was the inadequacy of current evaluation metrics. Automatic metrics often failed to fully capture subtle stylistic features. In some cases, BLEU scores dropped because the style model generated alternative phrasing that differed from the reference, even though both were equally academic in tone. This is a known issue in machine translation: automatic metrics do not always correlate with human perceptions of quality. Future work may explore learned evaluators that can assess both style and content. For example, a neural evaluator could produce both academicity and semantic alignment scores. The recent trend of using models like ChatGPT as evaluators could also be applied to style transfer tasks.

Finally, we offer some suggestions for future research:

First, as always, more and higher-quality data are critical. For academic style transfer, small-scale parallel datasets could be created using crowdsourcing—for example, by asking PhD students or researchers to revise informal paragraphs into academic prose.

Second, this pipeline could be extended to multilingual scenarios. Although the present study focused on Turkish-English, similar needs exist for other languages. For instance, the system could be adapted to translate and transform Chinese texts into academic English, or vice versa. Components such as language-specific translation models and vocabularies would need to be adjusted. Currently, academic language models like SciBERT are limited to English, but training such models for other languages (e.g., Turkish) would be a valuable research direction.

Third, future systems might incorporate human-in-the-loop interactions. Instead of fully automatic transformation, the model could offer suggestions that users select or revise. In the FormalStyler project, user feedback loops were found to improve model performance. Similarly, treating the system as a writing assistant, we could enable users to provide feedback on preferred or undesired transformations, allowing the model to learn online.

In conclusion, the two-stage translation and style transfer system developed in this study demonstrates the potential of deep learning technologies to assist Turkish researchers in writing academic articles in English. Our findings show that it is possible to preserve meaning while adapting style. With richer datasets, improved models, and integrated evaluation strategies, this pipeline can be further refined. More broadly, the study highlights the potential of language technologies to enhance academic communication. Through comprehensive experimentation and continued development, Turkish scholars will be better equipped to express their ideas in publishable academic English on the global stage.

References

- Beltagy, I., Lo, K., & Cohan, A. (n.d.). *SCIBERT: A Pretrained Language Model for Scientific Text*. <https://github.com/google-research/>
- Cho, K., Van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. *EMNLP 2014 - 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 1724–1734. <https://doi.org/10.3115/v1/d14-1179>
- Deng, Y., Cheng, S., Lu, J., Song, K., Wang, J., & Wu, S. (2018). *Alibaba 's Neural Machine Translation Systems for WMT18*. 2, 368–376.
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*. *Mlm*. <http://arxiv.org/abs/1810.04805>
- Gao, Y., Liu, Q., Yang, Y., & Wang, K. (2024). Latent representation discretization for unsupervised text style generation. *Information Processing and Management*, 61(3). <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2024.103643>
- Guan, W., Li, Y., Li, T., Huang, H., Wang, F., Lin, J., Huang, L., Li, L., & Hong, Q. (2024). *MM-TTS: Multi-Modal Prompt Based Style Transfer for Expressive Text-to-Speech Synthesis*. www.aaii.org
- Haddow, B., Bawden, R., Valerio, A., Barone, M., Helcl, J., & Birch, A. (2022). *Survey of Low-Resource Machine Translation*. <https://doi.org/10.1162/COLI>
- Haddow, B., Post, M., Rubino, R., Federmann, C., Huck, M., Specia, L., Negri, M., & Turchi, M. (2017). *Findings of the 2017 Conference on Machine Translation (WMT17)*. 2, 169–214.
- Horvitz, Z., Patel, A., Callison-Burch, C., Yu, Z., & Mckeown, K. (2024). *ParaGuide: Guided Diffusion Paraphrasers for Plug-and-Play Textual Style Transfer*. www.aaii.org
- Jin, D., Alexa, A. A., Jin, Z., Hu, Z., Vechtomova, O., & Mihalcea, R. (2022). Deep Learning for Text Style Transfer: A Survey under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license. *Computational Linguistics*, 48(1). <https://doi.org/10.1162/COLI>
- La Quatra, M., Gallipoli, G., & Cagliero, L. (2024). Self-supervised Text Style Transfer using Cycle-Consistent Adversarial Networks. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*. <https://doi.org/10.1145/3678179>

- Lewis, M., Liu, Y., Goyal, N., Ghazvininejad, M., Mohamed, A., Levy, O., Stoyanov, V., & Zettlemoyer, L. (2019). Bart: Denoising sequence-to-sequence pre-training for natural language generation, translation, and comprehension. *ArXiv Preprint ArXiv:1910.13461*.
- Lin, J., & Yi, Z. (2025). *Inversion-Free Video Style Transfer with Trajectory Reset Attention Control and Content-Style Bridging*. <http://arxiv.org/abs/2503.07363>
- Lin, T., Wang, Y., Liu, X., & Qiu, X. (2022). A survey of transformers. *AI Open*, 3, 111–132. <https://doi.org/10.1016/j.aiopen.2022.10.001>
- OpenAI, Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., Ahmad, L., Akkaya, I., Aleman, F. L., Almeida, D., Altenschmidt, J., Altman, S., Anadkat, S., Avila, R., Babuschkin, I., Balaji, S., Balcom, V., Baltescu, P., Bao, H., Bavarian, M., Belgum, J., ... Zoph, B. (2023). *GPT-4 Technical Report*. <http://arxiv.org/abs/2303.08774>
- Post, M. (2018). A Call for Clarity in Reporting BLEU Scores. *Proceedings of the Third Conference on Machine Translation: Research Papers*, 186–191. <https://doi.org/10.18653/v1/W18-6319>
- Qiu, X. P., Sun, T. X., Xu, Y. G., Shao, Y. F., Dai, N., & Huang, X. J. (2020). Pre-trained models for natural language processing: A survey. In *Science China Technological Sciences* (Vol. 63, Issue 10, pp. 1872–1897). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s11431-020-1647-3>
- Rao, S., & Tetreault, J. (2018). *Dear Sir or Madam, May I introduce the GYAFC Dataset: Corpus, Benchmarks and Metrics for Formality Style Transfer*. <http://arxiv.org/abs/1803.06535>
- Schwenk, H., Chaudhary, V., Sun, S., Gong, H., & Guzmán, F. (2021). WikiMatrix: Mining 135M parallel sentences in 1620 language pairs from wikipedia. *EACL 2021 - 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference*, 1351–1361.
- Sel, İ., & Hanbay, D. (2022). Fully Attentional Network for Low-Resource Academic Machine Translation and Post Editing. *Applied Sciences*, 12(22), 11456. <https://doi.org/10.3390/app122211456>
- Sel, İ., Üzen, H., & Hanbay, D. (2021). Creating a Parallel Corpora for Turkish-English Academic Translations. *Bilgisayar Bilimleri, Special*, 335–340. <https://doi.org/10.53070/BBD.990959>
- Tao, Z., Xi, D., Li, Z., Tang, L., & Xu, W. (2024). *CAT-LLM: Prompting Large Language Models with Text Style Definition for Chinese Article-style Transfer*. <http://arxiv.org/abs/2401.05707>

- Tiedemann, J., Aulamo, M., Bakshandaeva, D., Boggia, M., Grönroos, S.-A., Nieminen, T., Raganato, A., Scherrer, Y., Vazquez, R., & Virpioja, S. (2022). *Democratizing Neural Machine Translation with OPUS-MT*. <http://arxiv.org/abs/2212.01936>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5999–6009.
- Wang, H., Wu, P., Rosa, K. Dela, Wang, C., & Shrivastava, A. (n.d.). *Multimodality-guided Image Style Transfer using Cross-modal GAN Inversion*.
- Wolf, T., Debut, L., Sanh, V., Chaumond, J., Delangue, C., Moi, A., Cistac, P., Rault, T., Louf, R., Funtowicz, M., Davison, J., Shleifer, S., von Platen, P., Ma, C., Jernite, Y., Plu, J., Xu, C., Scao, T. Le, Gugger, S., ... Rush, A. M. (2019). *HuggingFace's Transformers: State-of-the-art Natural Language Processing*. <http://arxiv.org/abs/1910.03771>
- Yang, S., Wang, Y., & Chu, X. (2020). *A Survey of Deep Learning Techniques for Neural Machine Translation*. <http://arxiv.org/abs/2002.07526>
- Zhang, Z., Zhang, Q., Xing, W., Li, G., Zhao, L., Sun, J., Lan, Z., Luan, J., Huang, Y., & Lin, H. (2024). *ArtBank: Artistic Style Transfer with Pre-trained Diffusion Model and Implicit Style Prompt Bank*. www.aaii.org

Chapter 7

Word Tokenization in Turkish Texts: A Comprehensive Comparison of Byte Pair Encoding, Unigram, And Wordpiece Methods

İlhami SEL¹

Introduction

Natural language processing (NLP) technologies have recently achieved significant progress in various applications such as language translation, text classification, sentiment analysis, summarization, question answering, and chatbot systems, thanks to rapid advancements in language models and widespread adoption of artificial intelligence methods. These technologies facilitate everyday life—for instance, voice assistants provide time savings by instantly answering users’ simple queries. Similarly, applications such as e-mail spam filters (Sel & Hanbay, 2019) or automated translation services enhance digital communication, making it more effective and efficient. From a business perspective, automated chatbot systems accelerate and improve customer service processes. For example, customers can resolve simple issues instantly, reducing wait times significantly and thus enhancing customer satisfaction.

In recent years, considerable advancements in NLP have been achieved through deep learning methods (Correia & Colombini, 2021). Specifically, recurrent neural networks (RNNs) and long short-term memory networks (LSTMs) have been instrumental due to their ability to retain historical information and effectively model long-term dependencies within language data. However, these models have certain limitations, particularly in processing very long texts, such as difficulties in maintaining context and computational complexity arising from the vanishing gradient problem. To overcome these limitations, the Transformer architecture (Vaswani et al., 2017) was introduced.

¹ Dr., Inonu University Faculty of Engineering Department of Computer Engineering
Orcid: 0000-0003-0222-7017

The Transformer architecture utilizes an attention mechanism, a method that independently assesses and weighs the relationships among all words in a given text. This mechanism enables the efficient capture of contextual relationships between words, significantly enhancing the accuracy of text understanding. Transformer-based models thus achieve performance comparable to, or sometimes surpassing, human-level comprehension. Consequently, these developments facilitate the overcoming of language barriers, promoting more natural and efficient interactions between humans and machines.

A fundamental step underlying these NLP technologies is tokenization, considered essential for understanding language structures (Sel & Hanbay, 2021). Tokenization refers to the process of converting text into smaller, meaningful units called tokens. In this process, each word or character group within the text is converted into unique numerical identifiers that language models can interpret. The main goal of tokenization is to enable language models to represent words or word fragments within large datasets as numeric vectors. This approach allows language models to more effectively capture contextual and semantic relationships within texts. Since the tokenization method directly affects model performance, choosing an appropriate tokenization strategy is critical, especially for languages with complex morphological structures.

Morphologically rich and agglutinative languages such as Turkish present particular challenges for word tokenization. In such languages, a single word can assume multiple meanings by accumulating numerous affixes, significantly expanding the vocabulary size. For instance, the Turkish word "evlerimizden" can be segmented into four morphemes: "ev (house – noun root)", "ler (plural suffix)", "imiz (possessive suffix)", and "den (ablative case suffix)". Similarly, the word "koşamadım" is segmented into "koş (run – verb root)", "a (ability suffix)", "ma (negation suffix)", "dı (past tense suffix)", and "m (first person singular suffix)". These examples illustrate that traditional tokenization methods, which typically do not incorporate morphological segmentation, inadequately capture such complexity, potentially decreasing model performance and hindering accurate capture of nuanced meanings. Thus, tokenization methods operating at the subword level, which incorporate morphological structure, are preferred (Haddow et al., 2022).

Within this context, subword-based tokenization methods have recently gained popularity. Among these methods, Byte Pair Encoding (BPE) (Sennrich et al., 2016), Unigram (Kudo & Richardson, 2018), and WordPiece (Devlin et al., 2018) stand out. Byte Pair Encoding is a frequency-based method that iteratively merges the most frequently occurring character pairs, thus creating meaningful

subwords. It is particularly popular for low-resource languages. The Unigram method, on the other hand, employs a probabilistic language model approach to select subwords, evaluating multiple potential segmentations to identify the optimal one. Lastly, the WordPiece method, developed by Google, operates similarly to BPE but differs by choosing subword units that maximize the overall language model probability. These three methods construct small, data-driven subword units rather than large, fixed vocabularies, thus better representing the morphological and structural characteristics of languages and achieving high performance in NLP applications.

Language models utilize diverse architectures to process and understand textual data. Recurrent Neural Networks (RNNs), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and Transformer architectures are particularly notable. RNN and LSTM models have proven successful in processing sequential data and capturing long-term dependencies effectively (Sel & Hanbay, 2022). However, these models encounter problems such as the vanishing gradient issue as text length increases. The Transformer architecture addresses this issue through its attention mechanism, independently assessing the relationships between each word within a given text. This capability enhances the model's ability to utilize context effectively, significantly improving language modeling performance. Based on the Transformer architecture, BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) (Devlin et al., 2018) utilizes bidirectional context to better represent word meanings. DistilBERT (Sanh et al., 2019) is a lighter, faster variant of BERT, aiming to achieve similar performance with fewer parameters. RoBERTa (Robustly Optimized BERT Pre-training Approach) (Liu et al., 2019) further enhances the original BERT model by optimizing the training procedure and hyperparameters, resulting in more robust and consistent outcomes. These models' ability to understand context and capture linguistic structures makes them highly popular for NLP tasks.

In this context, the primary objective of this study is to comprehensively compare the effectiveness of Byte Pair Encoding, Unigram, and WordPiece methods on Turkish texts. Three pre-trained language models—BERT, DistilBERT, and RoBERTa—were utilized for this comparison. A total of nine model-tokenizer combinations were created and evaluated using the "Turkish Product Reviews" dataset available in the Huggingface library. Performance evaluation involved metrics widely used in NLP, such as precision, recall, accuracy, and F1-score. Additionally, the changes in loss and F1-scores during the training process were graphically analyzed.

Ultimately, this study aims to guide the selection of an optimal tokenization strategy for effectively capturing Turkish's complex morphological structure.

Moreover, by examining the effects of different tokenization methods on language models comprehensively, the study provides valuable references for Turkish NLP applications.

Related Work

In their study, Kaya & Tantı (2024) investigated the impact of tokenization granularity on Turkish large language models. Based on the ITUTurkBERT model, their research evaluated how varying vocabulary sizes and tokenization granularity affected model performance. The importance of subword tokenization for Turkish was highlighted through the tokenization of the sentence "Tembellik ve uyku düşmanımızdır." ("Laziness and sleep are our enemies.") into tokens such as "Tem", "##bel", "##lik", "ve", "uyku", "düşmanı", "##mız", "##dır."

Erkan & Güngör (2023) compared different deep learning models and tokenization approaches within a sentiment classification task. Their work specifically focused on the utilization of morphological information, such as preserving derivational suffixes and segmenting inflectional suffixes. However, detailed discussions on specific tokenization algorithms were not provided.

In their comprehensive study, Erkaya & Güngör (2023) evaluated commonly used subword tokenization methods—Byte-Pair Encoding (BPE), Unigram, and WordPiece—for the Turkish language. They provided illustrative examples of how the Turkish word "büyükadaya" ("to the big island") is tokenized using different methods. Furthermore, they proposed a novel method termed "WordPiece Morphology," designed to better represent morphological information, demonstrating improved morphological alignment compared to conventional methods.

Dursun (2023), in their thesis, proposed a new framework for morphological processing of Turkish, considering tokenization as an integral part of morphological analysis. This study addressed limitations of existing morphological analyzers and developed a novel morphological analyzer combined with a disambiguation tool.

Özçift et al. (2021) addressed challenges associated with NLP applications in morphologically rich languages such as Turkish. Their study emphasized tokenization as a critical preprocessing step, although it did not provide detailed comparisons of specific tokenization algorithms.

Kayali & Omurca (2024) investigated hybrid tokenization methods for Turkish abstractive text summarization. The study analyzed combinations of tokenization strategies such as Whitespace, BPE, ULM, and WordPiece, concluding that hybrid tokenizers significantly enhanced summarization performance.

In their study, Tokgoz et al. (2021) compared the performance of BERT and DistilBERT models using various tokenization methods for Turkish news classification. They found that tokenizers specifically trained for Turkish exhibited superior performance compared to multilingual tokenizers.

Babayigit & Sattuf (2025) examined BERT's internal tokenization mechanism within a Turkish keyword extraction task. Their findings underlined the critical role of tokenization in overcoming challenges posed by the morphological richness of Turkish.

In the thesis by Ciddi et al. (n.d.), the significance of tokenization for morphological processing of Turkic languages was emphasized. A dictionary-based tokenization approach was proposed for the recognition of multi-word expressions (MWEs).

Finally, the study by Aytan & Sakar (2023) compared BPE, character-based, and syllable-based tokenization methods in Turkish spelling error detection. They concluded that the combination of BPE tokenization with a Bi-LSTM model yielded the best performance.

Collectively, these studies highlight the critical role of tokenization in NLP tasks, especially for morphologically complex languages such as Turkish. The choice of tokenization method and granularity directly impacts model performance. Reviewed research indicates that subword-based tokenization methods (BPE, WordPiece, Unigram) effectively overcome vocabulary limitations and provide superior representation of morphological structures compared to traditional tokenization approaches. Moreover, innovative strategies such as integrating morphological information into the tokenization process or employing hybrid methods further enhance the performance of Turkish NLP applications. These findings provide valuable guidance and a solid reference point for future research in Turkish language processing.

Material And Method

A. Material

In this study, a sentiment analysis task on Turkish texts was chosen to effectively compare tokenization methods. The dataset utilized for this purpose is the publicly available "Turkish Product Reviews" dataset provided by Huggingface (Wolf et al., 2019). This dataset consists of user-generated product reviews written in Turkish, where each review has been labeled as either "positive" or "negative" based on user evaluations. The original dataset contains a total of 235,165 reviews, comprising 220,284 positive and 14,881 negative examples.

Considering the significant imbalance between classes in the original dataset, the data was reduced and balanced to ensure more reliable and meaningful comparisons. Specifically, the balancing process involved selecting an equal number of positive reviews to match the negative reviews, resulting in a balanced and manageable dataset comprising 14,881 examples for each class, totaling 29,762 samples (Table 1). This approach reduced the risk of bias due to class imbalance and facilitated a clearer assessment of performance differences across the various tokenization methods.

Table 1: Dataset

Train	Test	Total
23.809(%80)	5.953(%20)	29.762

The reviews contained in the dataset widely represent the usage of the Turkish language in everyday speech and written contexts. Most of the reviews in this dataset are short to medium in length, typically reflecting users' personal opinions and evaluations regarding various products. This characteristic provides a valuable opportunity to test the effectiveness and accuracy of tokenization methods on authentic examples of Turkish language use. Furthermore, since user-generated comments are often written without strictly adhering to grammatical and spelling conventions, the dataset also offers the advantage of assessing how effectively different tokenization approaches handle real-world linguistic challenges.

B. Method

1. Pre-Trained Language Models

One of the most significant milestones in recent developments in natural language processing (NLP) has been the emergence of pre-trained language models. These models initially acquire extensive linguistic knowledge through pre-training on large-scale textual data and are later fine-tuned on smaller datasets for specific downstream tasks. In this study, the selected pre-trained language models are BERT, DistilBERT, and RoBERTa. Each of these models is based on the Transformer architecture and is described in detail below.

1.1. BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*)

The BERT model (Devlin et al., 2018), introduced by Google, is a Transformer-based architecture published in 2018. Transformer architecture relies exclusively on attention mechanisms, particularly utilizing multi-head self-attention to model relationships among words. BERT comes in two main variants:

- BERT Base: Consists of 12 Transformer layers, 12 attention heads, and a hidden size of 768, containing approximately 110 million parameters.
- BERT Large: Comprises 24 Transformer layers, 16 attention heads, and a hidden size of 1024, containing approximately 340 million parameters.

BERT employs two tasks during pre-training: Masked Language Modeling (MLM) and Next Sentence Prediction (NSP).

- Masked Language Modeling (MLM): Approximately 15% of words in the input text are randomly masked, and the model attempts to predict these masked tokens based on context.
- Next Sentence Prediction (NSP): Given two sentences, the model predicts whether the second sentence logically follows the first sentence.

The BERT model was pre-trained on extensive datasets, including Wikipedia (2,500M words) and BookCorpus (800M words), enabling comprehensive general language understanding.

Following pre-training, BERT undergoes fine-tuning on smaller datasets tailored to specific NLP tasks (e.g., sentiment analysis, text classification, question answering). During fine-tuning, task-specific layers are added, and the model parameters are updated using the AdamW optimization algorithm, typically employing low learning rates (e.g., $2e-5$) over several epochs.

1.2. DistilBERT

DistilBERT (Sanh et al., 2019), developed by HuggingFace, is a smaller, lighter, and faster version of the BERT model. This architecture reduces BERT's size by approximately 40%, aiming for minimal performance loss while achieving faster inference. DistilBERT includes 6 Transformer layers, 12 attention heads, and a hidden size of 768, totaling around 66 million parameters, significantly fewer than BERT Base.

DistilBERT employs knowledge distillation during pre-training, transferring learned representations from a larger "teacher" model (BERT Base) to a smaller "student" model. It utilizes only the MLM task, excluding NSP. DistilBERT's pre-training datasets are identical to those of the original BERT: Wikipedia and BookCorpus.

DistilBERT follows a fine-tuning approach similar to BERT, where task-specific layers are appended, and parameters are optimized via AdamW with low learning rates. Due to its fewer parameters, DistilBERT offers faster training and evaluation compared to BERT.

1.3. RoBERTa (Robustly Optimized BERT Pre-training Approach)

RoBERTa (Liu et al., 2019), developed by Facebook AI, enhances the BERT architecture through several optimizations. Structurally similar to BERT, it typically consists of 12 or 24 Transformer layers with multi-head attention. Unlike BERT, RoBERTa eliminates the NSP task and exclusively employs the MLM task during pre-training, utilizing substantially larger datasets and longer training durations.

RoBERTa incorporates several optimizations in pre-training:

- Utilizes significantly larger datasets such as BookCorpus, Wikipedia, CC-News (76GB), OpenWebText (38GB), and Stories (31GB).
- Conducts prolonged training involving many more training steps than BERT.
- Employs larger batch sizes and optimized training strategies.
- Implements dynamic masking, randomly masking different tokens in each epoch, enhancing the model's generalization capabilities.
- These optimizations contribute to RoBERTa's superior performance across various NLP tasks.

The fine-tuning process of RoBERTa mirrors that of BERT, involving the addition of task-specific layers, optimization via AdamW, low learning rates, training for several epochs, and applying early stopping techniques based on validation set performance to prevent overfitting.

The fine-tuning procedures for BERT, DistilBERT, and RoBERTa commonly involve the following strategies (Lin et al., 2022):

- **Transfer Learning:** Parameters from pre-trained language models serve as initial weights, which are further fine-tuned for specific tasks.
- **AdamW Optimization:** Widely employed optimization method with typically low learning rates (e.g., $2e-5$, $3e-5$).
- **Batch Size and Epoch Selection:** Batch sizes typically range from 16 to 64, and training usually spans 3 to 10 epochs, depending on the task complexity.
- **Early Stopping:** Training halts when improvements on the validation set plateau, preventing overfitting.
- **Warm-up Learning Rate:** The learning rate is gradually increased over the initial epochs to stabilize training at the outset.

Through careful combinations of these fine-tuning approaches, BERT, DistilBERT, and RoBERTa models consistently achieve high performance in

diverse NLP tasks. This study meticulously implemented the fine-tuning processes for each model to systematically evaluate the impact of different tokenization methods in Turkish sentiment analysis tasks.

2. Tokenization Algorithms

Tokenization, a critical preprocessing step for language models, involves dividing natural language texts into meaningful sub-units (tokens) that models can effectively learn. Particularly for morphologically rich and agglutinative languages such as Turkish, subword-level tokenization methods are widely preferred. In this study, we conducted an in-depth examination of Byte Pair Encoding (BPE), Unigram, and WordPiece tokenization methods.

2.1. Byte Pair Encoding (BPE)

Byte Pair Encoding (BPE) is a subword tokenization algorithm originally designed for data compression but later adapted to natural language processing. The basic principle of BPE is to iteratively merge the most frequently occurring character pairs in a dataset to form larger subword units.

BPE algorithm involves the following steps:

- Initially, all words in the dataset are split into characters, and a special end-of-word symbol (usually `</w>`) is appended.
- The frequency of each character pair across the dataset is calculated.
- The most frequent character pair is merged into a single subword token.
- This iterative merging continues until a predefined vocabulary size is reached.

For example, if the dataset frequently includes words such as "kitap," "kitapçı," and "kitaplık," the algorithm might initially merge the frequently occurring pair "ki." In subsequent iterations, larger subwords such as "kit" and "kitap" are formed, resulting in a final vocabulary including tokens such as "kitap," "##çı," and "##lık."

Advantages:

- Language-independent and data-driven.
- Minimizes out-of-vocabulary (OOV) issues.
- Effective for morphologically rich languages.

Disadvantages:

- Frequency-based approach that does not explicitly consider morphological structure, thus potentially lacking morphological consistency.

2.2. Unigram Language Model

The Unigram language model-based tokenization approach, implemented by Google in the SentencePiece library, uses a statistical language model to probabilistically select subword units. Unlike BPE, the Unigram method is probabilistic, evaluating multiple candidate subword segmentations iteratively.

The Unigram tokenization procedure consists of the following steps:

- A large initial vocabulary of candidate subwords is generated from the dataset (e.g., frequent subwords or character groups).
- Each candidate subword is evaluated using a statistical Unigram model.
- The model measures the reduction in overall probability if each candidate subword is removed from the vocabulary.
- Subwords that least reduce the overall probability are gradually removed until the target vocabulary size is achieved.

The Turkish word "evlerimizden" can initially be segmented into various forms, such as "ev," "ler," "imiz," "den," or "evleri," "mizden." The Unigram model calculates probabilities for all possible segmentations, selecting the most optimal one—such as "ev," "##ler," "##imiz," and "##den"—based on the highest probability.

Advantages:

- Provides segmentation more aligned with morphological structure and semantic coherence than BPE.
- Its probabilistic approach offers greater consistency and flexibility.
- Allows multiple potential segmentations for each word (subword regularization).

Disadvantages:

- Slightly higher computational cost compared to BPE.
- Sensitive to initial vocabulary size selection.

2.3. WordPiece Tokenization

WordPiece tokenization, introduced by Google and popularized by the BERT language model, is structurally similar to BPE. However, it differs by selecting subword units to maximize the overall language model probability rather than merely frequency.

WordPiece tokenization involves the following steps:

- Initially, words are divided into characters, and frequencies are calculated from the dataset.

- Candidate subwords formed by merging character pairs are identified.
- Each candidate subword's impact on increasing the overall language model probability is computed.
- Character pairs that most significantly increase model probability are iteratively merged.
- This iterative merging continues until the desired vocabulary size is achieved.

Consider the Turkish word "koşamadım"; WordPiece might tokenize it into "koş," "##ama," and "##dım." The prefix "##" indicates that the token is not at the start of a word. This approach helps maintain grammatical and morphological integrity within language models.

Advantages:

- Maximizes overall language model probability, providing more morphologically consistent segmentation than BPE.
- It is the standard tokenization method for widely-used models such as Google's BERT.

Disadvantages:

- Like BPE, it does not explicitly incorporate morphological knowledge, relying instead solely on statistical probabilities.
- Slightly more computationally complex compared to BPE.

All three tokenization algorithms share a common goal: segmenting natural language text into meaningful subword units to enhance learning by language models. However, they differ significantly in terms of methodology, computational approach, and morphological consistency:

- BPE is advantageous due to its simplicity and speed but lacks explicit morphological consistency.
- Unigram is more morphologically consistent and flexible due to its probabilistic nature, yet it has a slightly higher computational cost.
- WordPiece generates consistently robust subword tokens by maximizing language model probabilities and is widely adopted in standard language models like BERT.

In this study, each of these tokenization methods was individually employed in Turkish sentiment analysis tasks, allowing for detailed comparisons of their effectiveness and performance. This enabled a comprehensive, scientifically-

based evaluation of the most suitable subword tokenization approach for a morphologically rich language such as Turkish.

During the fine-tuning process in this study, a binary classification layer was added on top of the pre-trained language models. All model parameters were updated throughout the training without freezing any layers. The training was conducted on a GPU with 32GB of memory, using a batch size of 16. The learning rate was set to $2e-5$, and weight decay was set to 0.01 to prevent overfitting. The models were trained for a total of 3 epochs.

Results and Discussion

In this study, we compared three pre-trained language models (RoBERTa, DistilBERT, and BERT) combined with three tokenization algorithms (Byte Pair Encoding - BPE, Unigram, and WordPiece) on a sentiment analysis task using a dataset consisting of Turkish user reviews. In total, nine distinct model configurations were created, and the performance of these models was evaluated using metrics such as precision, recall, accuracy, and F1-score (Table 2, Figures 1, 2, 3).

Table 2: Success scores of models

		Precision	Recall	Accuracy	F1-Score
xlm-RoBERTa-base	WordPiece	0,822	0,836	0,828	0,829
	Unigram	0,800	0,845	0,818	0,822
	BPE	0,796	0,810	0,802	0,803
Distilbert	WordPiece	0,832	0,846	0,838	0,839
	Unigram	0,825	0,846	0,832	0,839
	BPE	0,849	0,837	0,844	0,843
Bert	WordPiece	0,813	0,835	0,822	0,824
	Unigram	0,833	0,795	0,818	0,813
	BPE	0,839	0,814	0,830	0,827

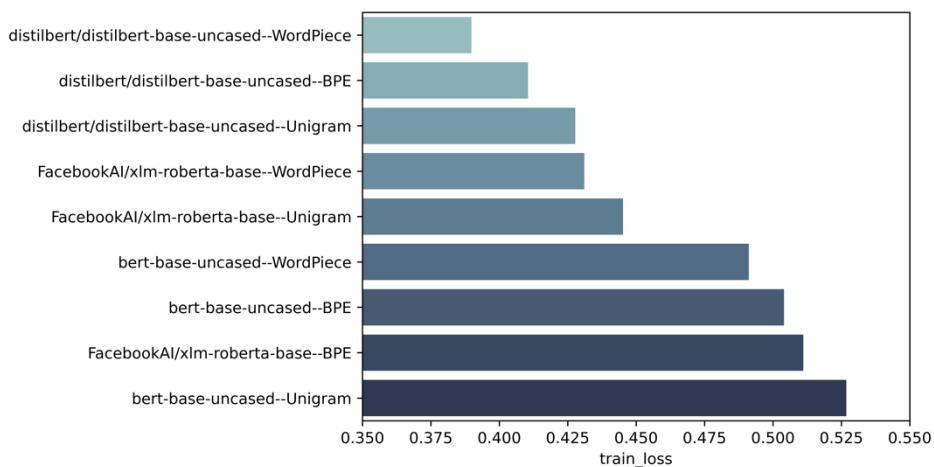


Figure 1: Loss of Models at the End of Training

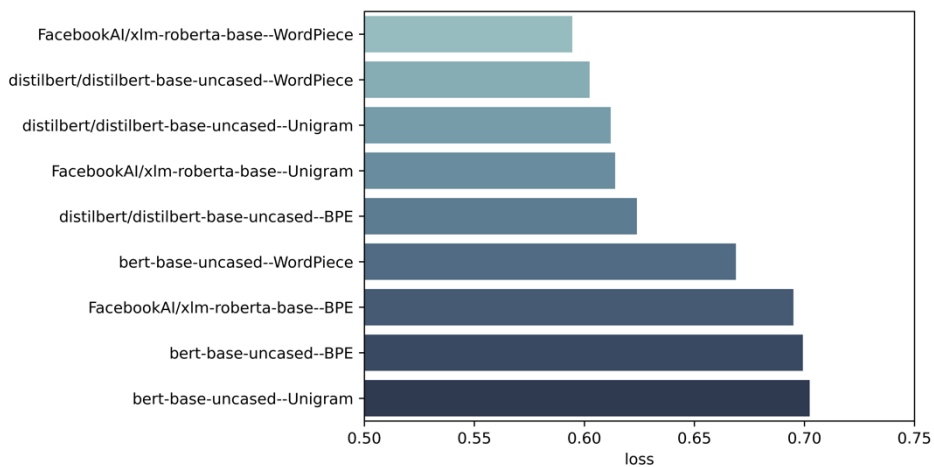


Figure 2: Loss of Models in Test Set

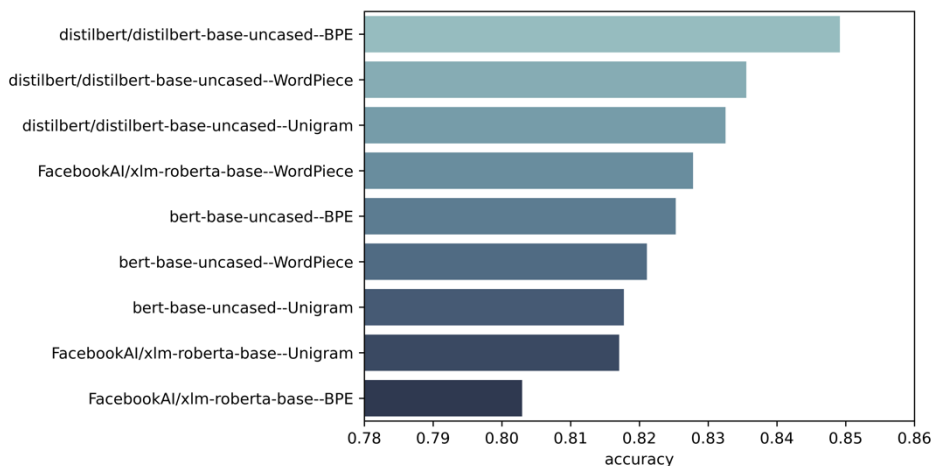


Figure 3: Accuracy scores of the models

The experimental results demonstrate that, among all models, DistilBERT generally outperforms the other models. When paired with BPE tokenization, DistilBERT achieved the highest precision (0.849) and accuracy (0.844). Similarly, it also yielded strong performance with both WordPiece and Unigram tokenizers, particularly exhibiting consistent F1-scores (0.839 for both). These results indicate that despite having fewer parameters compared to BERT, DistilBERT offers faster and more efficient learning capabilities in language tasks. Moreover, its low resource consumption and fast training time provide a distinct advantage for applications such as sentiment analysis.

In the case of the RoBERTa model, WordPiece tokenization led to the highest performance (0.829 F1), surpassing both BPE and Unigram. This outcome may be attributed to RoBERTa's pretraining on large and heterogeneous corpora, which enables it to better exploit the morphological granularity captured by WordPiece. Conversely, the performance obtained with BPE tokenization (0.803 F1) was lower than expected, suggesting that the frequency-based structure of the BPE algorithm may be less compatible with RoBERTa's language modeling framework. While Unigram also produced an acceptable performance (0.822 F1) with RoBERTa, it did not reach the level of WordPiece.

Regarding the BERT model, the results obtained with WordPiece tokenization (0.824 F1) were the most consistent among the three tokenizers. Although BPE achieved higher precision (0.839), its relatively lower recall reduced the overall F1-score to 0.827, falling behind WordPiece. In contrast, the Unigram tokenizer yielded the lowest performance with BERT (0.813 F1), likely due to its reliance

on individual token probabilities rather than contextual representation, which is central to BERT’s deep contextual learning structure.

A general assessment of the experimental findings suggests that BPE and WordPiece outperform Unigram across all models. The strong results of WordPiece with RoBERTa and BERT indicate that this algorithm can better capture intra-word semantics and affixes in morphologically rich languages like Turkish. The superior performance of BPE with DistilBERT, on the other hand, suggests that BPE’s frequency-based merging strategy aligns well with DistilBERT’s lightweight architecture.

Finally, analysis of the loss curves (Figure 1) during training reveals that while all models converge rapidly in the early stages, DistilBERT-based models converge faster and more stably compared to the others. This finding further supports DistilBERT’s efficient learning capability and highlights its suitability for NLP tasks under limited computational resources.

In summary, this study presents a comprehensive comparison of pre-trained language models and tokenization methods for sentiment analysis in Turkish. The results show that DistilBERT delivers highly effective performance under resource-constrained settings and is a promising choice for real-world applications. Additionally, the findings confirm that WordPiece and BPE generally perform better on Turkish text than Unigram, emphasizing the importance of choosing appropriate tokenization strategies and language models for Turkish NLP tasks. These insights serve as a valuable reference point for future research and development in the field.

References

- Aytan, B., & Sakar, C. O. (2023). Deep Learning-Based Turkish Spelling Error Detection With A Multi-Class False Positive Reduction Model. *Turkish Journal Of Electrical Engineering And Computer Sciences*, 31(3), 581–595. <https://doi.org/10.55730/1300-0632.4003>
- Babayigit, B., & Sattuf, H. (2025). BERT-Based Keyword Extraction Model For The Turkish Language. *Neural Computing And Applications*. <https://doi.org/10.1007/S00521-025-11103-X>
- Ciddi, S., Zeman, R. D., Uszkoreit, H., & Zhang, Y. (N.D.). *Processing Of Turkic Languages*.
- Correia, A. De S., & Colombini, E. L. (2021). *Attention, Please! A Survey Of Neural Attention Models In Deep Learning*. <https://doi.org/10.1007/S10462-022-10148-X>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2018). *BERT: Pre-Training Of Deep Bidirectional Transformers For Language Understanding*. *Mlm*. <http://arxiv.org/abs/1810.04805>
- Dursun, O. (2023). *A NOVEL FRAMEWORK FOR MORPHOLOGICAL PROCESSING OF TURKISH*.
- Erkan, A., & Gungor, T. (2023). Analysis Of Deep Learning Model Combinations And Tokenization Approaches In Sentiment Classification. *IEEE Access*, 11, 134951–134968. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3337354>
- Erkaya, E., & Güngör, T. (2023). Analysis Of Subword Tokenization Approaches For Turkish Language. *31st IEEE Conference On Signal Processing And Communications Applications, SIU 2023*. <https://doi.org/10.1109/SIU59756.2023.10223973>
- Haddow, B., Bawden, R., Valerio, A., Barone, M., Helcl, J., & Birch, A. (2022). *Survey Of Low-Resource Machine Translation*. <https://doi.org/10.1162/COLI>
- Kaya, Y. B., & Tantug, A. C. (2024). Effect Of Tokenization Granularity For Turkish Large Language Models. *Intelligent Systems With Applications*, 21. <https://doi.org/10.1016/J.Iswa.2024.200335>
- Kayali, N. Z., & Omurca, S. I. (2024). Hybrid Tokenization Strategy For Turkish Abstractive Text Summarization. *8th International Artificial Intelligence And Data Processing Symposium, IDAP 2024*. <https://doi.org/10.1109/IDAP64064.2024.10711036>
- Kudo, T., & Richardson, J. (2018). Sentencepiece: A Simple And Language Independent Subword Tokenizer And Detokenizer For Neural Text Processing. *Arxiv Preprint Arxiv:1808.06226*.

- Lin, T., Wang, Y., Liu, X., & Qiu, X. (2022). A Survey Of Transformers. *AI Open*, 3, 111–132. <https://doi.org/10.1016/J.Aiopen.2022.10.001>
- Liu, Y., Ott, M., Goyal, N., Du, J., Joshi, M., Chen, D., Levy, O., Lewis, M., Zettlemoyer, L., & Stoyanov, V. (2019). *Roberta: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach*. 1. <http://arxiv.org/abs/1907.11692>
- Özçift, A., Akarsu, K., Yumuk, F., & Söylemez, C. (2021). Advancing Natural Language Processing (NLP) Applications Of Morphologically Rich Languages With Bidirectional Encoder Representations From Transformers (BERT): An Empirical Case Study For Turkish. *Automatika*, 62(2), 226–238. <https://doi.org/10.1080/00051144.2021.1922150>
- Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). Distilbert, A Distilled Version Of BERT: Smaller, Faster, Cheaper And Lighter. *Arxiv*, 2–6.
- Sel, İ., & Hanbay, D. (2019). Doğal Dil İşleme Yöntemleri Kullanarak E-Maillerin Sınıflandırılması E-Mail Classification Using Natural Language Processing. *2019 27th Signal Processing And Communications Applications Conference (SIU)*, 19–22. <https://doi.org/10.1109/SIU.2019.8806593>
- Sel, İ., & Hanbay, D. (2021). Ön Eğitimli Dil Modelleri Kullanarak Türkçe Tweetlerden Cinsiyet Tespiti. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. <https://doi.org/10.35234/Fumbd.929133>
- Sel, İ., & Hanbay, D. (2022). Fully Attentional Network For Low-Resource Academic Machine Translation And Post Editing. *Applied Sciences*, 12(22), 11456. <https://doi.org/10.3390/App122211456>
- Sennrich, R., Haddow, B., & Birch, A. (2016). Neural Machine Translation Of Rare Words With Subword Units. *54th Annual Meeting Of The Association For Computational Linguistics, ACL 2016 - Long Papers*, 3, 1715–1725.
- Tokgoz, M., Turhan, F., Bolucu, N., & Can, B. (2021). Tuning Language Representation Models For Classification Of Turkish News. *ACM International Conference Proceeding Series*, 402–407. <https://doi.org/10.1145/3459104.3459170>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention Is All You Need. *Advances In Neural Information Processing Systems*, 30, 5999–6009.
- Wolf, T., Debut, L., Sanh, V., Chaumond, J., Delangue, C., Moi, A., Cistac, P., Rault, T., Louf, R., Funtowicz, M., Davison, J., Shleifer, S., Von Platen, P., Ma, C., Jernite, Y., Plu, J., Xu, C., Scao, T. Le, Gugger, S., ... Rush, A. M. (2019). *Huggingface's Transformers: State-Of-The-Art Natural Language Processing*. <http://arxiv.org/abs/1910.03771>