

## Betondaki Nem Miktarının SVM Kullanarak Tespiti

Zekiye Şeyma TAMAY<sup>1\*</sup>, Yavuz TÜRKAY<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup> Elektrik Elektronik Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

\* [seymaseyma199758@hotmail.com](mailto:seymaseyma199758@hotmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

**Özet** – Beton yapıların dayanıklılığı, su temasına bağlı nem miktarıyla ilişkilidir. Bu nedenle su ile temas halinde olan yapıları verimli şekilde kullanmak için nem içeriğinin belirlenmesi büyük önem taşır. Perküsyon yöntemi, vurma ve dinleme anlamı taşır. Mel-Frekans Cepstral Katsayıları ses işleme uygulamalarında lineer olmayan bir mel frekans ölçeğinde log güç spektrumunun lineer kosinüs dönüşümüne dayanan ses sinyalinin kısa vadeli güç spektrumunu yüksek doğrulukla temsil etmektedir. Mel-Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC), bu çalışmada perküsyon kaynaklı sesin özelliklerini çıkarmak için kullanılmıştır. Perküsyon kaynaklı ses işareti, mikrofon ve bir çekiç kullanılarak elde edilir ve betondaki farklı nem içeriğini sınıflandırmak için ise destek vektör makinesi (SVM:Support Vector Machine) tabanlı makine öğrenmesi kullanılmıştır. Destek vektör makinesi (SVM), makine öğreniminde optimal bir marj tabanlı sınıflandırma tekniğidir ve doğrusal olarak ayrılabilen ve doğrusal olarak ayrılamayan sınıflandırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal olarak sınıflandırılmayan verilerde Destek Vektör Makinesine ek olarak Kernel Fonksiyonu ve Radyal Temel Fonksiyon (RBF) kullanılmaktadır. Uygulanacak yöntemle ilişkin deneysel sonuçlar, önerilen perküsyon tabanlı yöntemin betondaki farklı nem seviyelerini yüksek doğrulukta tespit edilebildiğini göstermekle beraber çekicinin serbest düşmesi sağlanarak elde edilen ses kayıtlarında başarımın daha yüksek olduğu da ispatlanacaktır. Kurulan mekanizmayla elde edilen verilerin doğruluk değerleri %98'in üstünde olduğu gösterilecektir. Önerilen yöntem geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında geleneksel yöntemlerde kullanılan cihaz ve sensörlerin kurulumunu gerektirmediği ve kullanımı oldukça kolay olduğu belirlenmiştir.

*Anahtar Kelimeler – Perküsyon, DVM, MFCC, Lagrange, Kernel*

### I. GİRİŞ

Beton, inşaat sektöründe özellikle binalarda en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir [1]. Bunun sebebi ise betonun birçok amaçla kullanılması, sağlam ve dayanıklı olmasının yanı sıra yangına karşı yüksek direnç göstermesidir [2]. Betonun içeriği çimento, kum, çakıl ve su karışımından oluşmaktadır [4]. Bu bileşenlerin oranı betonun fiziksel özelliklerini etkiler [1]. Betonun dayanıklılığı ise yalnızca bileşenlerin seçimine, karışım oranlarına ve uygulamalara değil, aynı zamanda maruz kaldıkları ortam ile aralarındaki etkileşimlere de bağlıdır [3]. Betonun bozulması, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar arasındaki bağdan kaynaklanır [5]. Nem içeriği, betonun maruz kaldığı

bozunum çoğu için çok önemli bir parametredir [6]. Betonun en iyi kullanım sergilediği hava sıcaklığının 20 ile 22 °C arasında olduğu laboratuvarında belirlenmiştir. Ayrıca en iyi beton performansını tespit etmek için ortamdaki bağıl nemin %40 ile %60 arasında olduğu hesaplanmıştır [7]. Betonarme yapılar için yapısal bozulmanın baskın nedenlerinden biride çelik donatı korozyonudur [8]. Betondaki nem içeriğinin değişimi kurumasına büzülmesine ve çatlaklara neden olabilir [9]. Betondaki nem miktarını belirlemek için ise birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden biride yapıya hasar vermeden uygulamayı gerçekleştiren tahribatsız muayene teknikleridir (NDT) [10,11]. Tahribatsız muayene

(NDT), aynı zamanda malzemenin gelecekteki performansını etkilemeyen, malzemenin kusur tespitinin uygulanmasını ifade eder [12].

Betonun tahribatsız muayenesi, beton elemanların daha geniş alanlarının karotlamaya göre daha düşük maliyetle muayene edilmesini sağlar ve görsel muayeneden daha fazla bilgi sağlar [13]. Kompozitlerin değerlendirilmesi için tahribatsız muayene (NDT) yöntemleri hakkında bir inceleme yapılmıştır. Yere Nüfuz Eden Radar (GPR) dalga zayıflaması [14], Ultrasonik Test (UT)[15],nötron radyografisi Test[16],

Elektromanyetik Test (ET)[17], Akustik Emisyon (AE) [18] ve Shearografi Testi[19], piezoelektrik malzemeler[20], gama saçılması[21], mikrodalga yöntemi [22]gibi tahribatsız muayene uygulamalarındaki en çok kullanılan yöntemlerden bazılarıdır [23]. Tahribatsız beton nem ölçerler (veya elektronik empedans ölçerler), beton nemi ile ilgili olan betonun elektrik empedansı prensibini kullanarak beton nemini ölçer. Tüm bu yöntemlerin avantajları olduğu kadar dezavantajları da mevcuttur. Özellikle fazla maliyetli ve ekstra malzeme kullanımı gerektirdiği için bu çalışmada daha düşük maliyet ve az malzemeli bir yaklaşım aranmasına sebep olmuştur. Ayrıca tahribatsız test yöntemleri, enerji santralleri, havacılık, nükleer sanayi, askeri ve savunma, depolama tankı muayenesi, boru ve boru muayenesi ve kompozit kusur karakterizasyonunda da yaygın olarak kullanılmaktadır [24].

Önerilen yöntemde, perküsyon ile elde edilen seslerin betondaki nem içeriğini belirlemek için yeni bir perküsyon tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yöntem sayesinde fazla malzemeye ve maliyetli sensörlere gerek kalmadan işlem yapılabilmektedir. Perküsyon ile kaydedilen seslerin arasına ortamdan kaynaklanan gürültüyü ortadan kaldırmak için hamming pencere uygulanmıştır. Ardından MFCC'den ses sinyallerinin özelliklerini çıkarmak için yararlanılmıştır.

Daha sonra ses sinyallerini nem miktarlarına göre gruplandırma işlemi yapmak için SVM tercih edilmiştir. Yeni geliştirilip önerilen sistemin doğruluğunu kontrol etmek için 8 nem içeriğine sahip 4 numune kullanılmıştır. Çekiç ve tahta bloklar ile oluşturulmuş sistemle farklı nem miktarlarına sahip her numuneye 100 kez vurulmuş

ve mikrofon yardımıyla çıkan sesler kaydedilmiştir. Daha sonra, tüm nem koşullarında, MFCC uygulandıktan sonra elde edilen verilerin yarısı veri eğitimi için eğitim setleri olarak ve kalan veriler veri testi için test setleri olarak rastgele atanmıştır. Deneysel sonuçları, önerilen yöntemin doğruluğunun %98'dan fazla olduğunu göstermiştir.

Bu sonuçlara ek olarak nem içeriğinin değerlendirilmesine yönelik diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, perküsyon tabanlı yöntemin kullanımının kolay ve yapı malzemelerinde geniş uygulama alanlarına sahip olduğu tespit edilmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### A. Mel-Frekans Cepstral Katsayıları

Mel frekansı cepstral katsayıları (MFCC ) Davis ve Mermelstein tarafından bulunmuştur [25]. Mel-Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC) sesin özelliklerini çıkarmak için kullanılan önde gelen bir yaklaşımdır [26]. Çünkü konuşma sinyali, farklı frekanslara sahip tonlardan oluşur [27]. Koenig ölçeği olarak adlandırılan yaklaşımı ele alırsak ses ve frekans ilişkisi 1000 Hz'nin altında doğrusaldır ama 1000 Hz'nin üzerinde logaritmiktir [28]. Referans noktası olarak, algısal işitme eşiğinin 40dB üzerinde 1 kHz tonun perdesi 1000 mel olarak tanımlanmıştır [27].

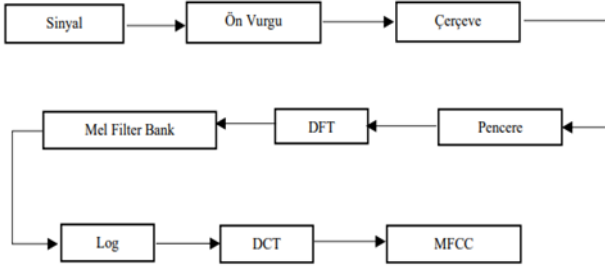
Bu yüzden mel frekansı ile insan kulağının duyabileceği Hz cinsinden frekanslar arasındaki ilişki Denklem 1.'de gösterilmektedir:

$$f_{\text{mel}} = 2595 \lg\left(1 + \frac{f}{700}\right) \quad (1)$$

Bunların yanı sıra Mel Frekans Cepstral Katsayıları (MFCC'ler), birçok konuşma ve konuşmacı tanıma uygulamalarında kullanılan en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [29,30]. Çünkü MFCC'lerin kullanım alanları oldukça geniştir. Örneğin: tarım, tıp, betonarme yapılar ve görüntüleme çok sık kullanılmaktadır.

### B. MFCC Adımları

MFCC'de özellik çıkarma adımları, ses sinyali frekansını artıran bir filtreden geçirilir. Ardından ses sinyali, pencereleme işlemiyle 30 milisaniyelik bir zaman dilimine bölünür. Ardından her çerçeveli sinyalle çarpılan hamming penceresi kullanılır.



Şekil 1. MFCC'lerin iş akışı

Daha sonra büyük frekanslı elde etmek için her çerçevede Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanır. Daha sonra, seçilen özelliğin boyut küçültülmesine yardımcı olmak için en büyük frekanslı üçgen bant filtrelerle çarpılır [31].

### C. Ön-Vurgu

Ön vurgu sürecinde Yüksek geçiren filtreler (HPF)  $f_c$  (Kesme frekansı)'den daha yüksek frekansları seçerek düşük frekansları zayıflatır [32]. Düşük frekanslı sinyaller böylece yüksek geçiren bir filtre ile çıkarılmış olur. [33] Bu aşama, daha yüksek frekansları filtrelemek ve sinyali vurgulamak için ve konuşma sinyali spektrumunu dengeleme için kullanılır [34]. Yüksek geçiren filtre Denklem 2.'de verilmiştir.

$$H(z) = 1 - \mu z^{-1} \quad (2)$$

$H(z)$  filtrenin sistem fonksiyonudur,  $z$  sinyalin frekansıdır ve tipik olarak 0,9 ile 1,0 arasındadır.

### D. Çerçeveleme

Kesintisiz ses sinyalleri, bitişik çerçevelerle ayrışmış  $M$  ve  $N$  örnekli sinyallere bölünür. Burada, ilk çerçeve  $N$  örnekli sinyallerden oluşur ve ikinci çerçeve ilk  $N$  örnekli sinyalden sonra  $M$  örnekli sinyaller ile başlar ve bir dizi çerçevelenmiş sinyal üst üste binmesiyle sonlanır. Bu işlem, tüm konuşma sinyali örnekleri hesaplanana kadar devam eder [35].

### E. Pencereleme

Pencereleme; ses sinyali segmentinin bir dalga biçimini belirli bir şekle sahip zaman uzayıyla çarpma işlemidir. Başka bir deyişle pencereleme uygulaması ses sinyallerini bölümler halinde çerçevelemiştir. Hamming penceresi, özellik çıkarma işlemlerinde kullanıldığı zaman bir sonraki bloğu dikkate alarak pencereleme yapar ve en yakın

tüm frekans bloklarını entegre ederek çalışmasını tamamlamaktadır.

Fourier Dönüşümünden sonra bulunan dalgalanmaları ortadan kaldırır [36]. Burada  $N$  çerçevenin uzunluğudur. Bu aşamada sinyal bölümlere ayrılmıştır,  $N$  örnekli her çerçeve bir pencere işlevi olan  $w(n)$  ile çarpılır. Denklem 3. Hamming penceresini ifade etmektedir:

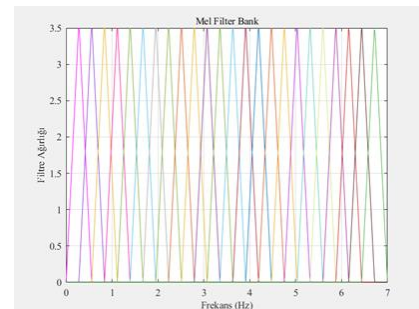
$$w = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (3)$$

### F. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)

FFT, sinyali zaman alanından frekans alanına dönüştürmek için kullanılır ve ayrıca her çerçevenin büyüklük frekans yanıtını elde etmek için kullanılır. Bunu yaparken, çerçevelerdeki sinyalin etrafına sarılırken periyodik ve sürekli olduğu varsayılır [37]. Hızlı Fourier dönüşümü (FFT) yöntemi, bir sinyalin ayrık Fourier dönüşümünü (DFT) veya ters dönüşümünü hızlı bir şekilde hesaplamak için kullanılır. FFT esas olarak sinyali işler ve sinyali orijinal zaman alanından frekans alanına dönüştürür ve bunun tersi de geçerlidir. FFT, DFT matrisini nispeten seyrek faktörlere hızla ayırabilir ve çeşitli matematiksel ve mühendislik hesaplamalarında yaygın olarak kullanılır [38].

### G. Mel Filtre Bankları

Konuşma üretimi ve algısı ile ilgili teoriden motive oldukları için konuşma tanımada yaygın olarak kullanılır [39]. Şekil 2, 24 örnekli bir NFB (Filtre bankındaki filtre sayısı) kullanarak doğrusal frekans ölçeğinde bulunan ortaya çıkan üçgen filtre sıralarını göstermektedir. Üçgen filtre bankaları düşük frekanslar için yoğun olarak bulunurlar, ancak daha yüksek frekanslar için seyrek olarak bulunurlar. Konuşma analizinde Mel ölçeği kullanılarak filtreleme yapıldığı taktirde daha düşük frekans bileşenlerinin vurguladığı sonucuna varılır [40].



Şekil 2. 24 örnekli üçgen bant geçiren filtre örneği

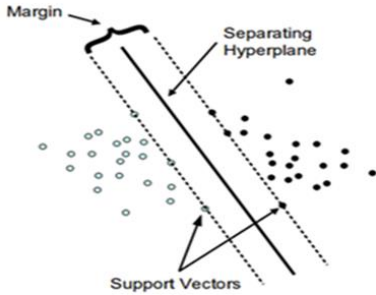
## H. Cepstrum

Konuşma spektrumunun cepstral temsili, verilen çerçeve analizi için sinyalin yerel spektral özelliklerinin iyi bir temsilini sağlar [27]. Cepstrum, sinyalin Fourier dönüşümünün logaritmasının ters dönüşümü alınarak elde edilir [41]. Son adımda, log mel spektrumunun zamana geri dönüştürülmesi gerekir. Sonuç mel cepstrum katsayıları (MFCC) olarak adlandırılır [27].

## İ. Destek Vektör Makinesi (Svm)

Vapnik tarafından geliştirilen SVM, istatistiksel öğrenme teoremi içerisinde yer alan yapısal risk azaltma prensibine dayanan genelleme yeteneği çok iyi olan bir sınıflandırıcıdır [42].

SVM uygulamasının asıl amacı giriş vektörlerini yüksek boyutlu özellik uzayına yansıtılmasını ve daha sonra vektörlerin iki gruba ayrılıp en az mesafeyi en doğru şekilde ortaya koyan doğrusal karar çizgisini aramaktır [43]. Doğrusal olarak sınıflandırılabilen bir veri kümesi için ayırıcı hiper düzlem sayısı birden fazla olabilir. Fakat bunlardan bir tanesi iki sınıf arasındaki mesafeyi maksimum yapar ve optimum hiper düzlem olarak isimlendirilir [44].



Şekil 3. Destek Vektör Makinesi

Gruplandırma işlemini yaparken ilk olarak, sınıfların en yakın noktaları arasındaki kenar boşluğunu en üst düzeye çıkararak oluşturulan iki sınıf arasındaki en uygun ayırıcı hiper düzlemi arar. Sonuç olarak sınırlarda olan noktalara destek vektörleri denir ve hiper düzlemin ortası bizim için en uygun ayırıcı çizgisidir [45].

Aynı zamanda birden fazla ikili sınıflandırıcıyı birleştirerek çok sınıflı bir sınıflandırıcı elde etmek Denklem 4. ile mümkündür [46].

$$f(x) = \text{sgn}(\sum_{i=1}^n a_i y_i K(x_i, x) + b) \quad (4)$$

Eğitim seti  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  ilgili etiket seti  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  olarak Denklem 5 ile tanımlanmıştır [47].

$$\{(x_i, y_i)\}, x_i \in R^d, y_i \in \{+1, -1\}, i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

Burada n örnek sayısı, b hiper düzlemin önyargısı,  $a_i$  eşitsizliğe göre Lagrange çarpanıdır [47].

$$K(x_i, x_j) = \varphi(x_i) \cdot \varphi(x_j) \quad (6)$$

Kernel fonksiyonu Denklem 6'da verilmektedir. Kernel fonksiyonu SVM kullanırken doğrusal olmayan bir bölme çizgisine ihtiyacımız olduğunda verileri doğrusal olmayan eğriler sığdırmak yerine kullanılacak verileri ayırma işlemini yapmak için hiper düzlemin kullanılabilmesi farklı bir alanı kullanıma uygun hale getirir [48].

Bazı yaygın çekirdek işlevleri ve bunlarla ilişkili matematiksel formüller aşağıda listelenmiştir [49].

Tablo 1. Yaygın olarak kullanılan çekirdek işlevleri

Çekirdek Tipleri	Fonksiyon
Doğrusal çekirdek	$k(X_i, X) = X_i \cdot X$
Polinomial Çekirdek	$k(X_i, X) = (X_i \cdot X)^e$
Sigmoid Çekirdek	$k(X_i, X) = \tanh(\gamma(X_i \cdot X) + c)$
Radyal Tabanlı Çekirdek	$k(X_i, X) = e^{-( x_i - y ^2 / 2\sigma^2)}$

Tablo 1.'de belirtilen parametrelerden bazıları; e polinom çekirdeğinin üs parametresi, i ve j ise endekslerdir [49].

SVM'ye dayalı sınıflandırma uygulamaları aynı zamanda, ağ güvenliği, yüz tanıma, hastalık teşhisi, metin tanıma, duygu analizi, bitki hastalığı tanımlama ve saldırı tespit sistemi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [50].

## III. PERKÜSYON, MFCC VE SVM KULLANILAN BETON NEMİ İZLEME

Beton blokların nem içeriğini değiştirmek için Şekil 4'te görüldüğü gibi suda bekletilmektedir. Betonlar suda bekletildikten sonra kuru bir zemine çıkarılır ve numunenin yüzeyinde su kalmayana kadar bir bezle silinir. Daha sonra numuneler nem içeriğini belirlemek üzere tartılır. Her numune için suda bekletme, bez yardımıyla kurutma ve tartma işlemleri sekiz kez tekrarlanmıştır.



Şekil 4. Suya batırılmış beton örneği

Tüm numunelerin suda bekletme süresi Tablo 2.'de verilmiştir.

Tablo 2. Beton numunelerin ıslanma süresi

Örnekler	Suda Bekletme Süresi (dk)							
	0	60	120	180	240	300	360	420
1	0	60	120	180	240	300	360	420
2	0	60	120	180	240	300	360	420
3	0	10	20	40	80	140	230	350
4	0	10	20	40	80	140	230	350

Nem miktarını tespit etmek için 4 adet beton numuneye perküsyon kaynaklı sesleri elde etmek için her nem seviyesinde eşit miktarlarda metal çekiç ile eşit şiddette darbe uygulandı.

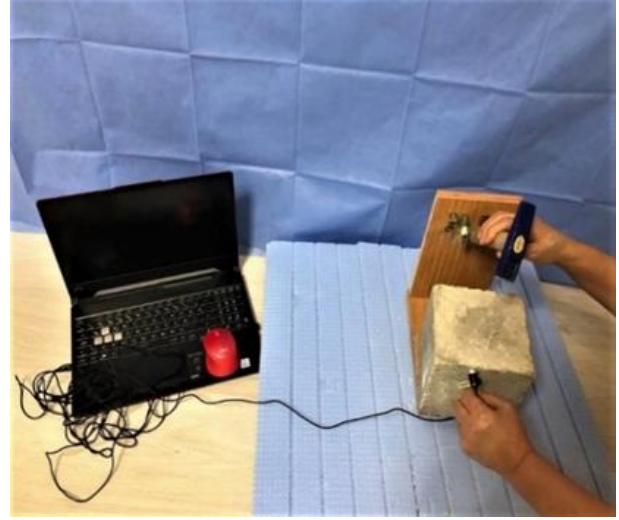
Perküsyon işlemi; beton numuneler bir çekiç ve kurulan mekanizma kullanılarak betonun üst kısmına vurularak gerçekleştirilmiştir. Perküsyon kaynaklı ses, mikrofon yardımı ile MATLAB Analog Input Recorder kullanılarak kaydedildi. Her numunenin örnekleme frekansı Tablo3.'de verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin ses kayıt Örnekleme frekansları

Örnekler	Örnekleme Frekansı (kHz)
1,2,3	20
4	100

Şekil 5'te beton numunelerin üst yüzeyine eşit şiddette vurmak için kurulan çekiç ve tahta bloklardan oluşan düzenek görülmektedir. Perküsyon kaynaklı ses sinyalleri Şekil 5'de

görüldüğü gibi beton numuneye yakın bir şekilde konumlandırılan mikrofon ile kaydedildi.



Şekil 5. Perküsyon işlemi

Ardından, her bir numune için betona vurma işlemlerinden kaynaklı darbelerden elde edilen sesin özellikleri MFCC kullanılarak hesaplandı.

Tablo 4. Mfcc'lerin hesaplama sürecindeki parametreler

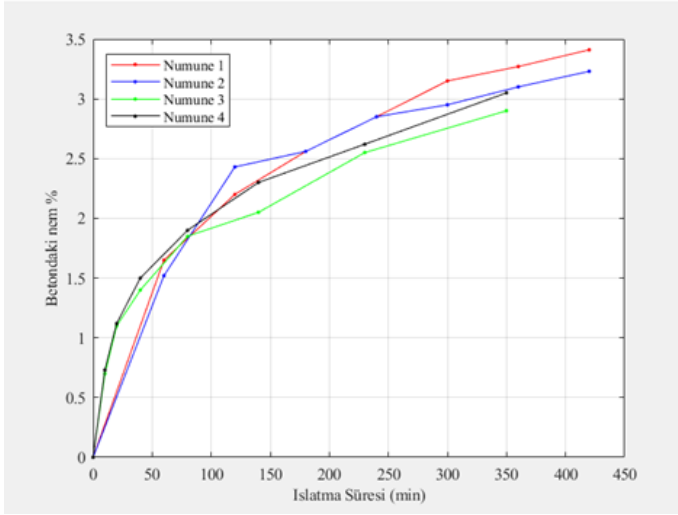
Örnekler	Seçilen Sinyalin Uzunluğu (ms)	Çerçeve Boyutu (ms)
1,2,3	20	3,2
4	10	0,64

MFCC ile elde edilen veriler etiketlendi ve aynı nem miktarlarına sahip verilere aynı etiket verildi. Beton numuneler için, tüm nem miktarlarındaki verilerin yarısı eğitim seti olarak etiketlenerek rastgele atandı ve kalan veriler etiketlenerek test seti olarak kullanıldı. Daha sonra SVM kullanılarak tüm nem miktarlarını gruplandırarak sonuçların doğrulukları çekiç ile ve kurulan düzenek ile çıkan sonuçlar karşılaştırılmalı olarak hesaplandı.

#### IV. DENEYSEL SONUÇLAR

Kullanılan numunelerin suda bekletme süreleri ve nem içerikleri arasındaki bağlantı ıslatma süresinin artmasıyla numunelerdeki nem miktarının arttığını ve nem miktarlarının değişme oranlarının dört numune için de benzer olduğunu belirlenmiştir.

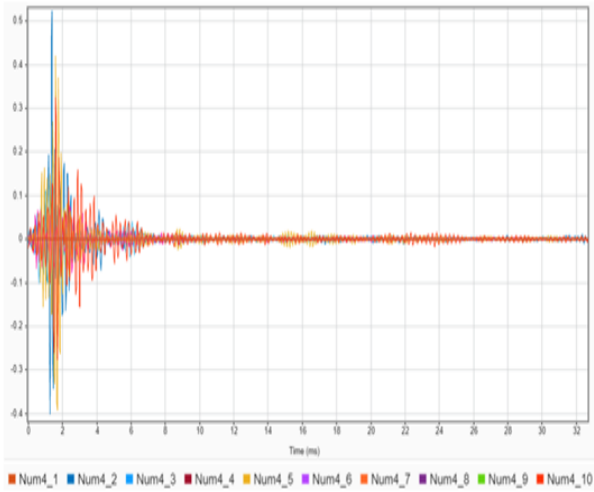
Beton numunelerinin ıslatma süresi ve nem içeriği arasındaki ilişki, ıslatma süresinin artmasıyla nem içeriğinin arttığını ve değişim eğilimlerinin dört numune için de benzer olduğu Şekil 6.'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Beton numunelerinin ıslatma süresi ile nem içeriği arasındaki ilişki

Beton numunelerden 1 ve 2. numunedeki nem miktarının değişimi suda bekletme sürelerinin ilk saatinde önemli miktarda arttığı saptanmıştır.

Dördüncü numune için kaydedilen on adet perküsyon işaretleri Şekil 7’de görselleştirilmiştir.

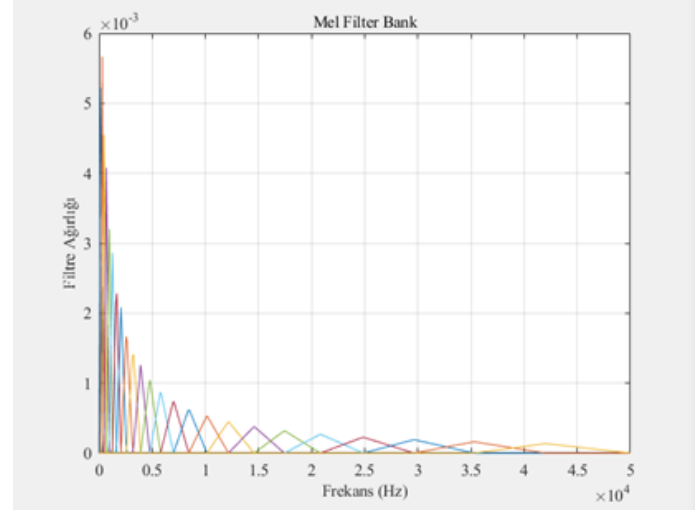


Şekil 7. 4. numunedeki mekanizma yardımı ile elde edilen on ses sinyali mikrofon yardımı ile kaydedilmiştir

Elde edilen ses sinyalleri Matlab-Signal Analyzer’da görselleştirildi.

Önerilen mekanizma yardımıyla elde edilen ses sinyalleri dengeli olduğu görülmektedir. Bu şekilde elde edilen ses sinyalleri eşit seviyelerde kuvvet uygulanarak elde edildiği için başlama ve bitiş zamanları neredeyse eşit ve vurma şeklinden, hızından, zamanlamasından kaynaklanan sinyal bitişinde meydana gelen titreşim minimum düzeydedir.

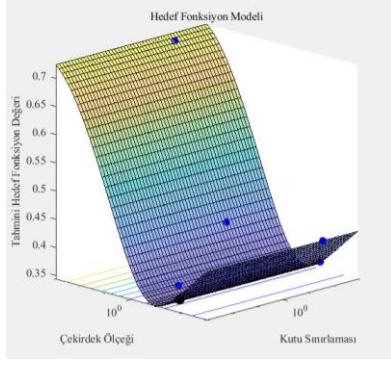
Mel ölçeğinde, üst sınırı 1 KHz olan frekans aralığı, üst üste binen üçgen filtrelerle yakın aralıklarla yerleştirilirken, yüksek frekans bölgesini ortalamak için benzer şekilde sahip daha az sayıda daha az aralıklı filtre kullanıldı. Bu nedenle, Şekil 8’de görüldüğü gibi, mel filtreleri düşük frekans bölgesini yüksek frekans bölgesinden daha doğru bir şekilde temsil eder [51].



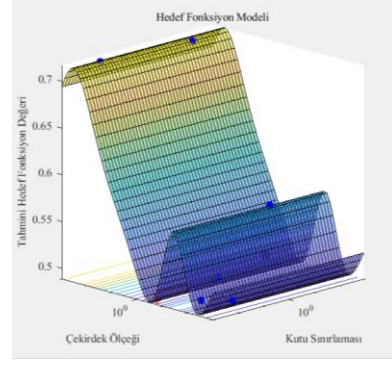
Şekil 8. Çekiç yardımıyla elde edilen ses sinyalinin MFCC örneği

Radyal Temel İşlevi (RBF) yöntemi, çok boyutlu dağınık verilerin enterpolasyonu için birincil araçlardan biridir [52]. Geleneksel bir RBF ağı, temel işlevleri olarak Gauss işlevlerini alır ve nesnel işlev olarak en küçük kesit kriterini benimser. RBF ağının kökeni, çok boyutlu bir alanda bir dizi veri noktasının tam enterpolasyonunu gerçekleştirmektedir [53].

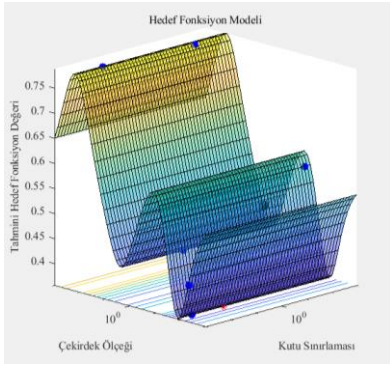
Radyal temel fonksiyon (RBF) yöntemleri, kötü dağıtılmış veri noktalarının yüksek boyutlu veri kümeleri için mükemmel enterpolasyonlar sağlayabilir [54]. Daha az parametre ve doğrusal olmayan haritalamanın avantajları ile karakterize edilen RBF, bu makalede çekirdek fonksiyonu olarak seçilmiştir [55]. Numune 4’ün optimizasyon sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10’da gösterilmektedir. Şekil 10. (d)’de minimum gözlenen hedefe tahmini hedef ile büyük ölçüde ulaşıldığı görülmektedir.



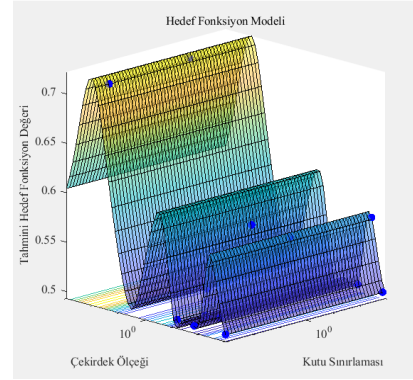
(a) İlk optimizasyon sonucu



(b) İkinci optimizasyon sonucu

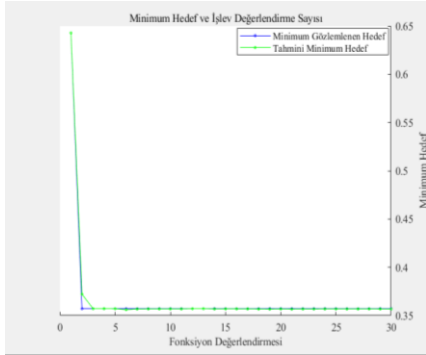


(c) Üçüncü optimizasyon sonucu

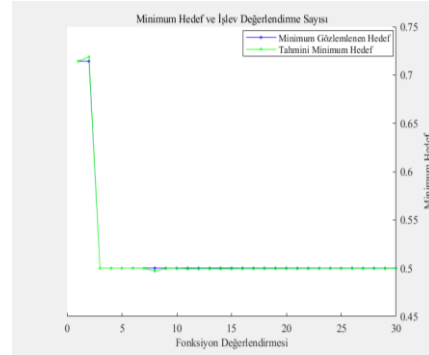


(d) Dördüncü optimizasyon sonucu

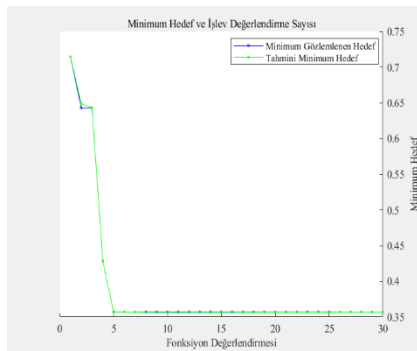
Şekil 9. Dördüncü numunenin optimizasyon sonuçlar



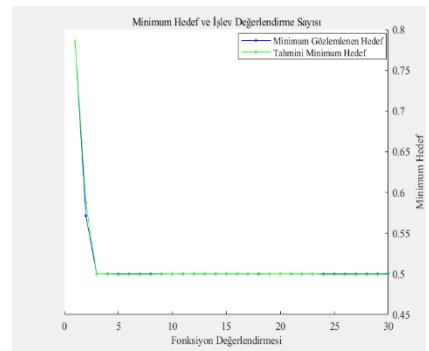
(a) İlk optimizasyon sonucu



(b) İkinci optimizasyon sonucu



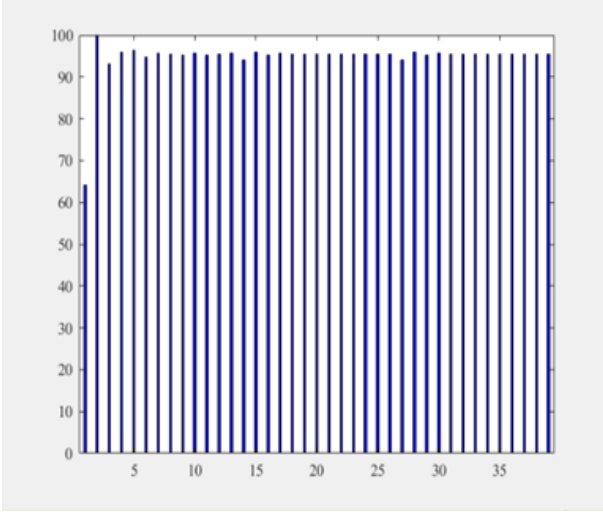
(c) Üçüncü optimizasyon sonucu



(d) Dördüncü optimizasyon sonucu

Şekil 10. Dördüncü numunenin optimizasyon sonuçlar

Rastlantıdan kaçınmak için, her numunenin sınıflandırması 40 kez yapıldı ve numune 4'ün sınıflandırma sonuçları Mekanizma yardımıyla elde edilen veriler Şekil 11.'de gösterilmiştir.



Şekil 11. 4. Numunenin sınıflandırma sonuçları

Kurulan mekanizmayla elde edilen verilerin sırasıyla doğrulukları yukarıda gösterilmiştir. Elde edilen verilerin doğruluk değerleri %98 in üstündedir. Böylece kurulan mekanizma ile elde edilen sinyallerin daha doğru sonuç verdiği tespit edilmiştir.

## V. BULGULAR

Yapılan çalışmada dört adet beton numune kullanılmıştır. SVM uygulamasında optimizasyonu sağlamak için Kernel fonksiyon ve Radyal Temel Fonksiyon (RBF) kullanılmıştır. Yapılan gözlemler ve deneylerin sonunda elde edilen sonuçların yüksek doğrulukta olduğu tespit edilmiştir. Dört numunenin sonuçlarından yola çıkarak önerilen yöntemin uygulanabilirliği oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Daha fazla numune daha doğru kanıtlar sunacaktır.

## VI. TARTIŞMA

Bu araştırmada, farklı nem seviyelerindeki betona çekiç ve tahta bloklarla kurulan mekanizma kullanılarak darbe uygulanmış ve darbenin neden olduğu ses mikrofon ile kaydedilmiştir. Farklı hızlarda kuvvetler uygulanırsa darbe şiddetlerinin de değiştiği tespit edilmiştir. Her darbe sonucunda elde edilen sinyallerin frekans alanında yalnızca genliklerinin farklı olduğu belirlenmiştir. Seslerin

genliklerine duyarlı olan MFCC'ler hesaplama sürecinde ortadan kaldırılmıştır.

Yukarıdaki analiz ve deneysel sonuçlardan, sınıflandırma işleminin doğruluğu vurma sırasında darbe şiddetinden etkilenmeyecektir. Bu makalede dört numune kullanılmış ve yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir. Dört numunenin sonuçlarından yola çıkarak önerilen yöntemin uygulanabilirliği oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Daha fazla numune daha doğru kanıtlar sunacaktır. Yapılan deneyler oldukça sessiz bir ortamda gerçekleştirilmiş ve analizlerde gürültü dikkate alınmamıştır. Ama saha uygulamalarında gürültü kaçınılmaz bir sorun olduğunu da belirtmekte fayda vardır.

## VII. SONUÇ

Bu makalede, betonun nem seviyesini tespit etmek için Mel-frekans cepstral katsayıları (MFCC'ler) ile destek vektör makinesi (SVM) birleştirilmiş ve perküsyon tabanlı bir sitem önerilmiştir. MFCC popüler bir özellik çıkarma yöntemidir ve bu çalışmada insan algısının frekanslarına dikkat edilerek özellik çıkarma işlemi uygulanmıştır. Kullanılan beton numunelerindeki birbirinden farklı nem seviyeleri, önerilen yöntemde tercih edilen makine öğrenim yöntemlerinden biri olan SVM kullanılarak doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. Eğitim setleri ve test setleri, perküsyon kaynaklı ses sinyallerine MFCC uygulandıktan sonra seçilen ses sinyallerinden elde edilmiştir. Yapılan deney sonuçları, betondaki nem miktarlarının sınıflandırılması için yüksek doğrulukta olduğunu göstermiştir. Önerilen perküsyon tabanlı yöntemin, nem içeriğinin belirlenmesi için kullanılan geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında daha kolay olduğu ve bu yöntemi kullanacak kişinin ekstra bir eğitim almadan kolayca uygulayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, MFCC yöntemi diğer inşaat mühendisliği alanlarında perküsyon kaynaklı ses sinyallerinin özelliklerini elde etmek için büyük bir potansiyele sahip olduğu da gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] L. Franceschelli, E. Laccheri, E. Franzoni, A. Berardinelli, L. Ragni, C. Mazzotti, & M. Tartagni, Non-Intrusive Microwave Technique For Direct Detection Of Concrete Compressive Strength Monitoring By Multivariate Modeling. *Measurement*. (2023).
- [2] S. Asphaug, E. Andenæs, S. Geving, B. Time, & T. Kvande, Moisture-Resilient Performance Of Concrete Basement Walls – Numerical Simulations Of The Effect Of Outward Drying. *Building And Environment*. (2022).
- [3] Z. Wu, H. Wong & N. Buenfeld, Transport Properties Of Concrete After Drying-Wetting Regimes To Elucidate The Effects Of Moisture Content, Hysteresis And Microcracking. *Cement And Concrete Research*. (2017).
- [4] L. Kanellopoulos, Concrete Deterioration: Physical And Chemical Mechanisms. *Cyprus: Middleton Publishing*. (2010).
- [5] P. Moonen & J. Carmeliet, Modelling Moisture Transport In Intact And Fractured Concrete. *Eth Zürich And Empa Dübendorf, Switzerland: Woodhead Publishing*. (2014).
- [6] A. C Andrade & S. J Andrade, Relative Humidity In The Interior Of Concrete Exposed To Natural And Artificial Weathering. *Cement And Concrete Research*. (1999).
- [7] S. Shoukry, G. William, B. Downie & M. Riad, Effect Of Moisture And Temperature On The Mechanical Properties Of Concrete. *Construction And Building Materials*. (2011).
- [8] W. Li, S. Ho & G. Song, Corrosion Detection Of Steel Reinforced Concrete Using Combined Carbon Fiber And Fiber Bragg Grating Active Thermal Probe. *Smart Materials And Structures*. (2016).
- [9] J. Twumasi, P. Destefano & J. Christian, The Application Of Synthetic Aperture Radar Imaging Technique To Measure Moisture Content Of Concrete Structures. *Researchgate*. (2019).
- [10] D. Breyse, X. Romão, M. Alwash, Z. Sbartai & V. Luprano, Risk Evaluation On Concrete Strength Assessment With Ndt Technique And Conditional Coring Approach. *Journal Of Building Engineering*. (2020).
- [11] S. Verma, S. Bhadauria & S. Akhtar, Review Of Nondestructive Testing Methods For Condition. *Hindawi*. (2013).
- [12] R. Wu, H. Zhang, R. Yang, W. Chen & G. Chen, Nondestructive Testing For Corrosion Evaluation Of Metal Under Coating. *Journal Of Sensors*. (2021).
- [13] R. Wankhade & A. Landage, Non-Destructive Testing Of Concrete Structures In Karad Region. *Procedia Engineering*. (2013).
- [14] U. Ozkaya, F. Melgani, M. B. Bejiga, L. Seyfi & M. Donelli, GPR B scan image analysis with deep learning methods. *Measurement*, 165, 107770. (2020).
- [15] M. Liang, & J. Wu, Theoretical Elucidation On The Empirical Formulae For The Ultrasonic Testing Method For Concrete Structure. *Cement And Concrete Research*. (2002).
- [16] F. Beer, J. Roux & E. Kearsley, Testing The Durability Of Concrete With Neutron Radiography. *Nuclear Instruments And Methods In Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors And Associated Equipment*. (2005).
- [17] K. Langenberg, K. Mayer & R. Marklein, Nondestructive Testing Of Concrete With Electromagnetic And Elastic Waves: Modeling And Imaging. *Cement And Concrete Composites*. (2006).
- [18] A. Zaki, H. Chai, D. Aggelis, & N. Alver, Non-Destructive Evaluation For Corrosion Monitoring In Concrete: A Review And Capability Of Acoustic Emission Technique. *Sensors*. (2015).
- [19] Y. Hung, Shearography: A Novel And Practical Approach For Nondestructive Inspection. *Journal Of Nondestructive Evaluation*. (1989).
- [20] Y. Lim, S. Smith & C. Soh, Wave Propagation Based Monitoring Of Concrete Curing Using Piezoelectric Materials: Review And Path Forward. *Ndt & E International*. (2018).
- [21] P. Panikkath, R. R. & Ş. Ramu, Determining The Water Content In Concrete By Gamma Scattering Method. *Researchgate*. (2014).
- [22] A. Wahab, M. Aziz, A. Sam, K. You, A. Bhatti & K. Kassim, Review On Microwave Nondestructive Testing Techniques And Its Applications In Concrete Technology. *Construction And Building Materials*. (2019).
- [23] S. Gholizadeh, A Review Of Non-Destructive Testing Methods Of Composite Materials. *Procedia Structural Integrity*. (2016).
- [24] S. Dwivedi, M. Vishwakarma & P. Soni, Advances And Researches On Non Destructive Testing: A Review. *Materials Today*. (2018).
- [25] M. Skowronski & J. Harris, Improving The Filter Bank Of A Classic Speech Feature Extraction Algorithm. *Circuits And Systems, Ieee Xplore*. (2014).
- [26] M. Hossan, S. Memon & M. Gregory, A Novel Approach For Mfcc Feature Extraction. *Ieee. Australia: 2010 4th International Conference On Signal Processing And Communication Systems*. (2010).
- [27] M. Hasan, M. Jamil, M. Rabbani & M. Hasan, Speaker Identification Using Mel Frequency Cepstral Coefficients. *3rd International Conference On Electrical & Computer Engineering. Bangladesh: Icece*. (2004).
- [28] T. Ganchev, N. Fakotakis & K. George, Comparative Evaluation Of Various Mfcc Implementations On The Speaker Verification Task. *Researchgate*. (2005).
- [29] Z. Tüfekci & G. Dişken, Scale-Invariant Mfccc For Speech/Speaker Recognition. *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*. (2019).
- [30] S. Kopparapu & M. Laxminarayana, Choice Of Mel Filter Bank In Computing Mfcc Of A Resampled Speech. *10th International Conference On Information Science, Signal Processing And Their Applications (Isspa 2010). Kuala Lumpur, Malaysia: Ieee*. (2010).
- [31] V. Anupama, C. Amrutha, G. Varshini, G. Nandan, & G. Vivek, A Mfcc-Cnn Based Voice Authentication Security. *International Journal Of Engineering Technology And Management Sciences*. (2022).
- [32] R. Bhagat, & R. Kaur, Improved Audio Filtering Using Extended High Pass Filters. *International Journal Of*

- Enhanced Research In Science Technology & Engineering. India: Er Publications.* (2013).
- [33] Y. Ibrahim, J. Odiketa & T. Ibiyemi, Preprocessing Technique In Automatic Speech Recognition For Human Computer Interaction: An Overview. *Anale. Seria Informatică.* (2017).
- [34] D. Rakshithks, R. Md & S.G, Comparative Performance Analysis For Speech Digit Recognition Based On Mfcc And Vector Quantization. *Global Transitions Proceedings.* (2021).
- [35] S. Paul, & R.Paul, *Speech Recognition Of Throat Microphone Using Mfcc Approach. International Research Journal Of Engineering And Technology- Irjet. Qadirabad: Nature.* (2020).
- [36] M.Ali, M.Hossain & M. Bhuiyan, Automatic Speech Recognition Technique For Bangla Words. *International Journal Of Advanced Science And Technology.* (2013).
- [37] T. Mahboob, M.Khiyal, R. Bibi & M. Khanam, Speaker Identification Using Gmm With Mfcc. *Researchgate.* (2015).
- [38] S. Shin, A. Qureshi, J.-Y Lee & C. Yun, *Piezoelectric Sensor Based Nondestructive Active Monitoring Of Strength Gain In Concrete. Smart Materials And Structures.* (2008).
- [39] T. Sainath, B. Kingsbury, A.-R. Mohamed & B. Ramabhadran, Learning Filter Banks Within A Deep Neural Network Framework. *2013 Ieee Workshop On Automatic Speech Recognition And Understanding. Olomouc, Czech Republic: Ieee.* (2013).
- [40] M.A. Yusnita, S.Y.R Yusuf & M P. Paulraj, Analysis Of Accent-Sensitive Words In Multi-Resolution Mel-Frequency Cepstral Coefficients For Classification Of Accents In Malaysian English. *International Journal Of Automotive And Mechanical Engineering.* (2013).
- [41] S. Lalitha, D. Geyasruti, R. Narayanan, & S. M, *Emotion Detection Using Mfcc And Cepstrum Features. Procedia Computer Science.* (2015).
- [42] İ. Yabanova & M.Yumurtacı, Destek Vektör Makineleri Kullanarak Dinamik Yumurta Ağırlıklarının Sınıflandırılması. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University.* (2018).
- [43] K. Benabdeslem & Y. Bennani, Dendrogram-Based Svm. *Journal Of Computing And Information Technology.* (2006).
- [44] E. Yücesoy & V. Nabiyev, Konuşmacı Yaş Ve Cinsiyetinin Gkm Süpervektörlerine Dayalı Bir Dvm Sınıflandırıcısı İle Tespiti. *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University.* (2016).
- [45] D. Meyer, Support Vector Machines. (2021).
- [46] C.-W. Hsu & C.-J. Lin, A Comparison Of Methods For Multiclass Support Vector Machines. *Ieee Transactions On Neural Networks. Ieee.* (2002).
- [47] Y. Yao, Y. Liu, Y. Yu, H. Xu, W. Lv, Z. Li, & X. Chen, K-Svm: An Effective Svm Algorithm Based On K-Means Clustering. *Journal Of Computers.* (2013).
- [48] H. Bhavsar & M. Panchal, A Review On Support Vector Machine For Data. *International Journal Of Advanced Research In Computer Engineering & Technology.* (2012).
- [49] M. Sebtosheikh, R. Motafakkerfard, M. Riahi & S. Moradi, Support Vector Machine Method, A New Technique For Lithology Prediction In An Iranian Heterogeneous Carbonate Reservoir Using Petrophysical Well Logs. *Carbonates And Evaporites.* (2014).
- [50] International Conference On Signals And Systems (Icsigsys). *Chumukedima, Dimapur, Nagaland: Researchgate.*
- [51] D. Abdullah & A. Abdulazeez, Machine Learning Applications Based On Svm Classification A Review. *Qubahan Academic Journal.* (2021).
- [52] G. Wright, *Radial Basis Function Interpolation: Numerical And Analytical Developments.* (2003).
- [53] Y. Wu, H. Wang, B. Zhang & K.-L. Du, Using Radial Basis Function Networks For. *International Scholarly Research Notices.* (2011).
- [54] H. Rocha, On The Selection Of The Most Adequate Radial Basis Function. *Applied Mathematical Modelling.* (2009).
- [55] Q. Hou, W. Jiao, L. Ren, H. Cao & G. Song, Experimental Study Of Leakage Detection Of Natural Gas Pipeline Using Fbg Based Strain Sensor And Least Square Support Vector Machine. *Journal Of Loss Prevention In The Process Industries.* (2014).