

Yapı Cephelerinin Beyin Sinyalleri Üzerindeki Etkisinin EEG Analiz Yöntemi ile İncelenmesi

Rümeysa Betül İpek

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, rumeysabetulakin@gmail.com

Prof. Dr. F. Demet Aykal

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, demetaykal@gmail.com

ÖZET

İnsan zihni, cepheyi görsel ipuçlarıyla değerlendirerek mekân hakkında bir algı oluşturur. Cephede yer alan görsel uyaranlar, insan beyninde kompleks nöral aktivasyonlara neden olur. Bu aktivasyonlar elektroensefalogram (EEG) gibi nörofizyolojik cihazlarla ölçülebilir. Çalışmada; görsel uyaranların neden olduğu farklı duygu durumlarını belirlemek ve EEG sinyalleri ile bu duyguları sınıflandırmak amaçlanmıştır. Bahsedilen sınıflandırma yöntemi; Diyarbakır'da yeni yapılaşmaların olduğu bir bölge olan Mastfroş caddesinden, yapı cephelerinin eskiyerek deforme olduğu Huzurevleri bölgesinden ve villa tipi yapılaşmanın olduğu Kitilbil mahallesinden seçilen 3 farklı yapı örneğinin cepheleri üzerinden test edilmiştir. Çalışmada yöntem olarak; EEG verilerinin toplanması, veri ön işleme, yapay zekâ tabanlı analiz, sınıflandırma ve sonuçların yorumlanması adımları yer almaktadır.

Sınıflandırma için ise biyolojik sinir ağlarının işleyişinden esinlenilerek geliştirilmiş, bilgi işleme ve öğrenme yeteneğine sahip yapay sinir ağları (YSA) kullanılmıştır. Makine öğrenmesinde karmaşık veri setlerinin analizi için güçlü modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu modeller içinde doğrusal olmayan karar sınırları oluşturarak karmaşık veri setlerini sınıflandırmak için kullanılan; Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron - MLP) Sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem kullanılarak; çalışmanın sonucunda cephelerin insan algısı üzerindeki etkisinin nicel verilerle ispatı yapılmıştır. Böylelikle yapı cephelerinin soyut olan algısal etkileri yapay zekâ tabanlı analiz ve sınıflandırma yöntemleri kullanılarak elde edilen somut veriler üzerinden değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel bilimler, cephe algısı, mimarlık ve EEG, beyin sinyalleri, yapay zekâ.

Investigation of the Effect of Building Facades on Brain Signals by EEG Analysis Method

ABSTRACT

The human mind creates a perception about space by evaluating the facade with visual cues. Visual stimuli located on the front cause complex neural activations in the human brain. These activations can be measured with neurophysiological devices such as electroencephalogram (EEG). In the study; it was aimed to determine the different emotional states caused by visual stimuli and to classify these emotions with EEG signals. The mentioned classification method; It was tested on the facades of 3 different building samples selected from Mastfroş street, a region where there are new buildings in Diyarbakır, from the Huzurevleri area where building facades are aging and deformed, and from the Kitilbil neighborhood where there is a villa-type construction. As a method in the study; the collection of EEG data, data preprocessing, artificial intelligence-based analysis, classification and interpretation of results steps are included.

For classification, artificial neural networks (ANNs), which were developed inspired by the functioning of biological neural networks and have the ability to process and learn information, were used. Powerful models are needed for the analysis of complex data sets in machine learning. In these models, the Multi-Layer Perceptron (MLP) Classification method, which is used to classify complex data sets by creating nonlinear decision boundaries, has

been applied. Using this method; as a result of the study, the effect of facades on human perception was proved with quantitative data. Thus, the abstract perceptual effects of building facades were evaluated based on concrete data obtained using artificial intelligence-based analysis and classification methods.

Keywords: Scientific sciences, facade perception, architecture and EEG, brain signals, artificial intelligence

1. GİRİŞ

Mimari cepheler, bir yapının kimliğini ve kullanıcı üzerindeki ilk izlenimini oluşturan en önemli unsurlardan biridir. Cephe tasarımı, hem estetik hem de işlevsel açıdan bir yapının algılanma biçimini doğrudan etkilemektedir. Cephe tasarımı, bireylerin mekânı nasıl algıladığı ve deneyimlediği üzerinde doğrudan etkili olan bir unsurdur. Mimarlıkta alınan her tasarım kararı, insan algısı ve deneyimi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Yapı cepheleri de insanlar üzerinde estetik, duygusal, kent kimliği ve işlevsel açılardan derin etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle, mimari tasarım sürecinde yapı cephelerinin dikkatli tasarlanması oldukça önemlidir. Çünkü bu durum yapıların sadece görünüşünü değil, aynı zamanda kullanıcıların deneyimini ve algısını da şekillendirmektedir.

Son yıllarda insan merkezli bir yaklaşımın ivme kazanması ile insanların çevrelerini nasıl algıladıklarını ve çevrelerine nasıl tepki verdiklerini anlamak için bir çaba içerisine girildiği görülmektedir. Beynin elektriksel aktivitesini ölçen tıbbi bir yöntem olan EEG'nin mimarlık alanıyla ilişkili çalışmalarının da bu bağlamda ivme kazandığı görülmektedir. Konuya ilişkin yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde;

Naserabad ve Shahrودي (2019) tarafından "The effect of an urban element (bridge) on function of citizens' brain" başlıklı Journal of Advances in Cognitive Sciences dergisinde yayınlanan çalışma; köprülerin görünümünün vatandaşlar üzerindeki etkisini belirleyebilecek ve kullanıcıların zihin ve algıları üzerindeki farklı etkileri nedeniyle en uygun köprüyü belirleyebilecek bilişsel bilim yaklaşımıyla bir yöntem önermeyi amaçlamıştır.

Zou vd. (2021) tarafından "Quantifying the Impact of Urban Form on Human Experience: Experiment Using Virtual Environments and Electroencephalogram" isimli Journal of Computing in Civil Engineering dergisinde yayınlanan çalışmada; maliyetli ve kontrol edilmesi zor, gerçek yaşam ortamları yerine yüksek düzeyde kontrollü sanal ortamlar kullanarak çeşitli kentsel biçimlere verilen psikofizyolojik tepkileri ölçmek için biyometrik algılamadaki ilerlemelerden yararlanılmıştır. Bu çalışma ile belirli kentsel biçim özelliklerinin insan psikofizyolojisini etkilediği hipotezi test edilmiştir.

Elsadek vd. (2019) tarafından "Green Façades: Their Contribution To Stress Recovery And Well-Being In High-Density Cities" isimli Urban Forestry & Urban Greening dergisinde yayınlanan çalışma; yeşil bir cepheye bakmanın fizyolojik ve psikolojik etkileri araştırılmıştır.

Chaudhary vd. (2020) tarafından "Understanding Brain Dynamics for Color Perception using Wearable EEG headband" isimli Conference- EVOKE CASCON 2020'de yayınlanan çalışmada; renk algısının insan beyninin önemli bir bilişsel özelliği olduğu ve insan gözünü etkileyen renk çeşitliliği kullanılarak yakalanabilen beyin aktivitesindeki değişiklikleri tetikleyebildiği test edilmiştir.

Kim vd. (2021) tarafından "Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG" isimli International Journal of Environmental Research and Public Health dergisinde yayınlanan çalışmada; mimari elemanlarda değişiklik yaşayan kullanıcıların EEG yanıtlarını ölçmek için elektroensefalogram (EEG) ile sanal gerçeklik (VR) teknolojilerini birleştirmektedir.

Simülasyon öncesi ve sonrası değişiklikleri belirlemek için alfa-beta dalgaları (RAB) göstergelerinin oranı analiz edilmiştir.

Shemesh vd. (2017) tarafından "Affective Response To Architecture – Investigating Human Reaction To Spaces With Different Geometry" isimli Architectural Science Review dergisinde yayınlanan çalışmada; uzayın geometrisi ile insan duyguları arasındaki bağlantının daha iyi anlaşılması için multidisipliner bir araştırma yapılmıştır. Araştırma, çeşitli mimari mekan geometrileri türlerine karşı insan tepkisini deneysel olarak incelemek ve ölçmek için bir çerçeve ve metodoloji geliştirmektedir.

Vartanian vd. (2015) tarafından "Architectural Design And The Brain: Effects Of Ceiling Height And Perceived Enclosure On Beauty Judgments And Approach-Avoidance Decisions" isimli Journal of Environmental Psychology dergisinde yayınlanan çalışmada; mimari tasarımda tavan yüksekliği ve algılanan çevrenin estetik yargılar ve yaklaşma-kaçınma kararları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

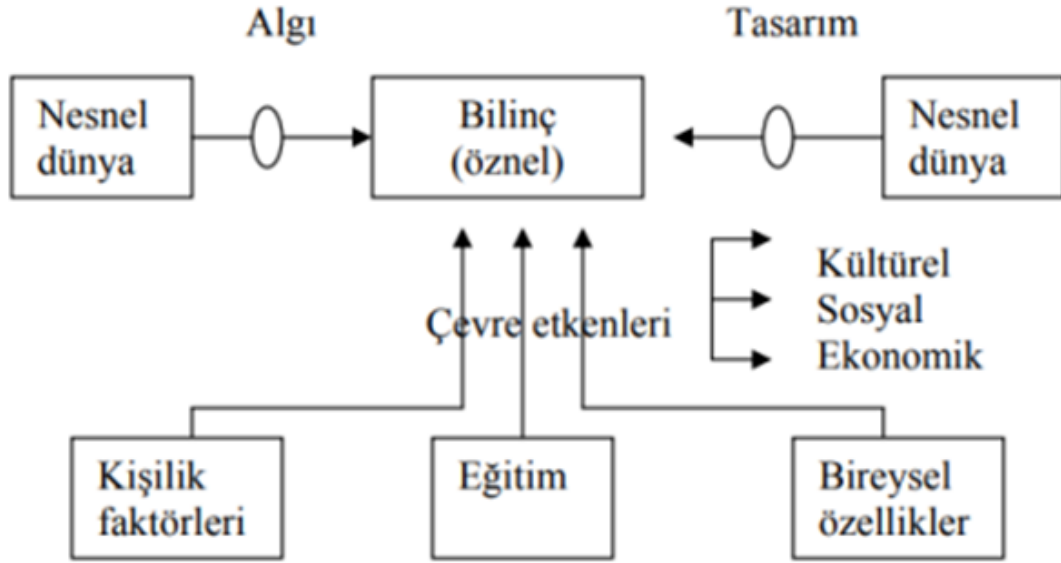
Banai vd. (2017) tarafından "Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics" isimli frontiers in Human Neuroscience dergisinde yayınlanan çalışma ile farklı iç biçimlerin; algılayıcıların duygu durumu ve buna eşlik eden beyin aktivitesi üzerindeki nörofizyolojik bağıntıları araştırılmıştır.

EEG (Elektroensefalografi) analiz yönteminin kullanıldığı bilimsel çalışmalar değerlendirildiğinde; mimarlık alanında yapılan çalışmalar azınlıkta kaldığı görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğunun tıp, psikoloji, nörobilim ve mühendislik alanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Mimarlık alanında yapılan çalışmaların çoğunluğu ise iç mekân ve mimari elemanların biçimleri konulu çalışmalardır. Cephe algısı üzerine yapılan çalışmalar daha azınlıktadır. Kullanıcıların yapı cephelerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini anlayabilmek için nicel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple çalışmada farklı cephe görüntülerinin insanların beyin sinyalleri üzerinde bir etki oluşturup oluşturmadığı test edilerek, bulguların sayısal verilere dönüştürülüp dönüştürülmeyeceği araştırılmıştır. Böylece subjektif olan algı değerlendirmesi objektif hale getirilmiştir.

1.1. Mimari Cephe ve Görsel Algı İlişkisi

Mimari cephe ve görsel algı arasındaki ilişki, insanların bir binayı nasıl deneyimlediğini ve onun hakkında nasıl bir izlenim edindiğini belirleyen temel unsurlardan biridir. Cephe, binanın dış dünyaya açılan yüzü olarak; malzeme, renk, doku, ışık, form ve ölçek gibi görsel bileşenlerle kullanıcının algısını şekillendirmektedir. İnsan gözü, cephedeki ritim, denge ve kontrast gibi tasarım unsurlarına karşı duyarlıdır. Cepheyi oluşturan unsurlar, mekânsal algıyı güçlendirerek bina ile kullanıcı arasında bir etkileşim oluşturmaktadır. Cephe tasarımı, bireysel algının ötesinde kentsel ölçekte de büyük bir rol oynamaktadır. Bir binanın cephe dili, çevresiyle kurduğu ilişkide belirleyici bir faktör olup, kent dokusunun estetik bütünlüğünü önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, iyi tasarlanmış cepheler görsel algıyı yönlendirmenin yanı sıra insanların yaşadıkları ve çalıştıkları mekânlarla daha güçlü bir bağ kurmalarını sağlamaktadır.

Bireylerin binaya dair algıladığı ilk yüzeyler cephelerdir. Bireyler, görme duyusu aracılığıyla cepheye dair bilgileri alıp, zihinde geçmiş görsel bilgilerinin oluşturduğu bilgi birikimi ile anlamlandırır. Bunun sonucunda görsel bilgiyi yorumlayarak, tepki verir. Bu bilgiler çeşitli faktörlere göre bireylerin algısında değişkenlik gösterebilmektedir. Bu sebeple cephe, bireyler tarafından farklı biçimlerde anlamlandırılan ve taşıdığı anlamlarla çevrenin karakterini oluşturan bir olgudur (Javanmanesh, 2018)(Şekil 1).

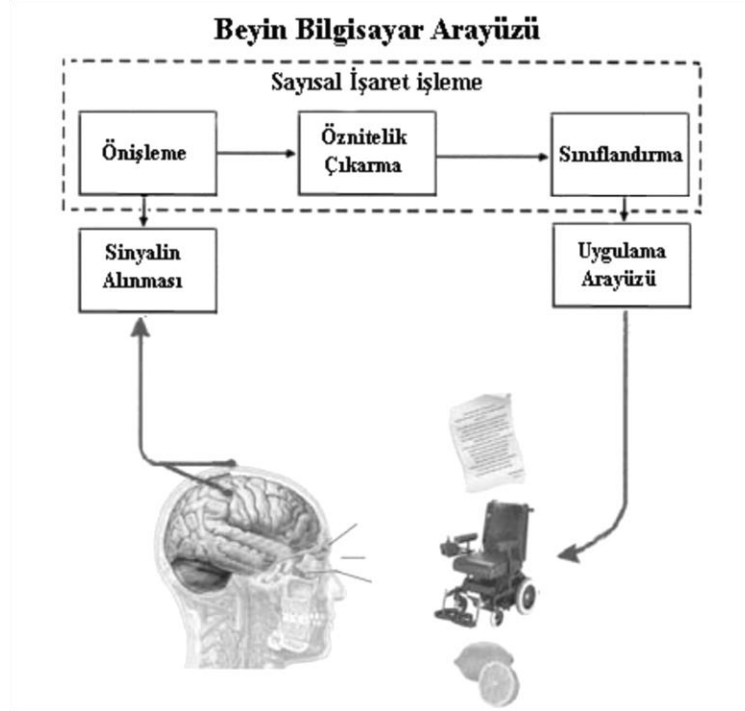


Şekil 1. Tasarım ve algı ilişkisinin şematik gösterimi (Minez, 2013)

İnsan beyni, bir binayla karşılaştığı anda cephenin biçimsel özelliklerini hızlı bir şekilde analiz ederek belirli duygusal ve bilişsel tepkiler geliştirir. Bu süreçte, oran, simetri, renk, doku ve malzeme gibi unsurlar algıyı doğrudan şekillendirmektedir. Örneğin, altın orana uygun orantılar ve dengeli kompozisyonlar, izleyicide estetik bir memnuniyet hissi uyandırırken, asimetrik ve deneysel tasarımlar dinamik ve yenilikçi bir izlenim bırakmaktadır. İyi kurgulanmış bir cephe tasarımı; görsel bir ifade aracı olmanın yanı sıra insanların mekânla kurduğu psikolojik ve duygusal bağı da şekillendirerek, mimari deneyimi derinleştirmektedir.

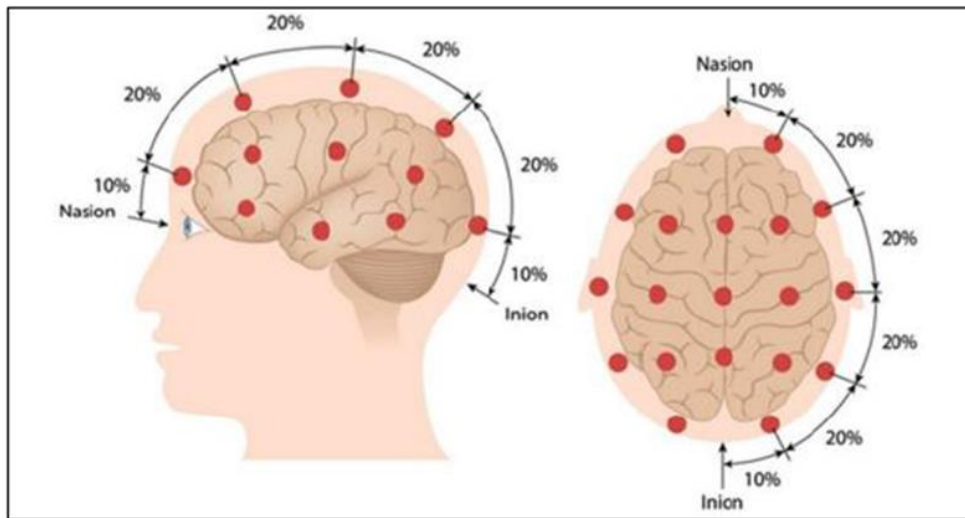
1.2. EEG Cihazı ve Algı Analizi

EEG sinyallerinin işlenmesi; beyin aktivitesinin analiz edilmesi ve yorumlanması için kritik bir süreçtir. Bu süreç, öncelikle ham EEG verisinin çeşitli gürültü kaynaklarından arındırılmasını içermektedir. Göz kırpma, kas hareketleri ve elektriksel girişim gibi artefaktlar, filtreleme teknikleri (Band-pass filtreler veya ICA - Bağımsız Bileşen Analizi gibi.) kullanılarak temizlenmektedir. Sonraki aşamada, EEG sinyalleri genellikle zaman-frekans analizine tabi tutularak; alfa, beta, teta, delta ve gama gibi farklı frekans bantlarına ayrıştırılmaktadır. Bu bantlar, bilişsel ve duygusal durumlarla ilişkilendirilir. Özellik çıkarımı aşamasında, istatistiksel metrikler (ortalama güç, entropi, varyans) veya spektral yoğunluk gibi parametreler hesaplanmaktadır. Duygu tanıma gibi uygulamalarda, bu özellikler makine öğrenmesi modelleri (örn. SVM, Derin Sinir Ağları) ile işlenerek, farklı duygusal durumlar sınıflandırılabilir. Sonuç olarak; EEG işleme, nöral verinin anlamlı bilgiye dönüştürülmesini sağlayan karmaşık ancak etkili bir yöntemler bütünüdür (Şekil 2).



Şekil 2. EEG sinyallerinin işlenmesi (Aydemir ve Kaşıkçıoğlu, 2009)

EEG cihazı, beyin sinyallerini kaydetmek ve analiz etmek için belirli bir protokol dâhilinde kullanılmaktadır. İlk olarak, elektrotlar uluslararası 10-20 sistemine göre kafa derisine yerleştirilerek, elektrotların deriyle iyi temas etmesi için iletken jel uygulanır (Şekil 3) (Başar, 2022).



Şekil 3. Elektrotların 10-20 sistemine göre yerleştirilmesi (Başar, 2022)

Elektrotların empedans değerleri kontrol edilerek, 5-10 k Ω altında olması sağlanmaktadır. Çünkü yüksek empedans; sinyal kalitesini düşürür. Kayıt sırasında, cihaz genellikle 250-1000 Hz örnekleme frekansı ile çalışır. 0.5-50 Hz band-pass filtre uygulanarak istenmeyen gürültüler elimine edilir. Denek, duygusal uyarılara (müzik, görseller vb.) maruz bırakılırken EEG verisi kaydedilmektedir. Ham veri, göz kırpması ve kas hareketi gibi artefaktlardan temizlendikten sonra, zaman-frekans analizine tabi tutularak alfa, beta, teta ve gama dalga bantlarına ayrıştırılmaktadır. Bu bantların güç dağılımları hesaplanarak makine öğrenmesi modelleriyle işlenerek, deneklerin duygusal durumları

sınıflandırılabilir. Bu süreç; EEG'nin nöral aktiviteyi yüksek zaman çözünürlüğüyle yakalayabilmesi sayesinde duygu tanıma gibi karmaşık bilişsel süreçlerin incelenmesine olanak tanımaktadır (Başar, 2022).

Mimarlık disiplini EEG yöntemi kullanılan çalışmalar belirtilen dalga boyları üzerinden incelendiğinde daha çok alfa dalgasının kullanıldığı görülmektedir. Bu durum alfa aktivitesinin bilişsel işlevlerde ve görev taleplerinde geçerli ve güvenilir bir ölçü olmasından kaynaklıdır (Başar, 2022).

2. YÖNTEM

Çalışmada, farklı cephe tasarımlarına maruz kalan bireylerin beyin aktiviteleri elektrofizyolojik yöntemlerle ölçülerek, elde edilen veriler yapay zekâ destekli analiz teknikleriyle değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, cephe tasarımlarının insan bilişi üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik önemli sonuçlar sunmaktadır.

Bu kapsamda yöntem; EEG verilerinin toplanması, veri ön işleme, yapay zekâ tabanlı analiz, sonuçların yorumlanması ve uygulanması adımlarından oluşmaktadır.

Çalışmada, kentsel yapılaşmanın farklı aşamalarını temsil eden üç farklı bölgeden örnek yapılar seçilmiştir: Yeni yapılaşmaların yoğun olduğu Mastfroş Caddesi, yapı cephelerinin zamanla deformasyona uğradığı Huzurevleri Bölgesi ve villa tipi yapılaşmanın hâkim olduğu Kıtılbil Mahallesi. Bu görseller kentin gelişimindeki yıllara bağlı olarak eskiden yeniye göre gelişen bölgelerden rastsal olarak seçilmiştir. Çalışmada 3 bölgeden her yapı için 3 cephe görüntüsü olmak üzere 9 görsel kullanılmıştır. Ayrıca görüntülerde herhangi bir Photoshop uygulaması olmamıştır. Bölgelere göre seçilen yapıların program çıktılarında karışıklığa sebep olmaması için sınıflandırılmış olup aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışmada kullanılan cephe görselleri (03.06.2025, 14:30)

SINIF 1	SINIF 2	SINIF 3
Diyarbakır, Huzurevleri, Kayapınar	Diyarbakır, Mastfroş Caddesi, Kayapınar	Diyarbakır, Kıtılbil Mahallesi, Sur
		

Deneyde, kullanıcıların algısı test edileceği için yapıların kullanıcı ile ilk temas ettiği cepheler olan ana yol cepheleri kullanılmıştır.

Çalışma; farklı cephe tasarımlarının insanların beyin sinyalleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Deneysel araştırma yöntemi kullanılarak, deneklerin farklı cephe tasarımlarına maruz kaldıklarında verdikleri nörofizyolojik tepkiler EEG (Elektroensefalografi) ile ölçülmüştür.

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ve Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesinden rastsal olarak seçilen, akademisyenler ve doktora öğrencilerinden oluşan 10 katılımcıdan 10 farklı kayıt alınarak 900 data kaydedilmiştir. Elde edilen EEG kayıtları, Python programlama dili kullanılarak analiz edilmiş ve yapay zeka algoritmaları ile yorumlanmıştır.

Çalışmanın metodolojik çerçevesi beş temel aşamadan oluşmaktadır. Bu süreç, çalışmanın amacına ulaşmasını destekleyen analiz, uygulama ve değerlendirme adımlarını içermektedir;

a. Aşama: Veri toplama aşaması; üç farklı bölgeden çekilen fotoğraflar, bir projeksiyon cihazı ile duvara yansıtılmıştır. Deneysel çalışmaya katılan bireyler, her bir görüntüyü 1 dakika boyunca dikkatlice incelemiştir. Bu gözlem süresi boyunca, katılımcıların beyin aktiviteleri EEG cihazı kullanılarak kaydedilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Beyin aktivitelerinin kaydedilmesi

b. Aşama: EEG kaydı; beyin aktivitesini elektriksel olarak ölçen bir tekniktir. Katılımcıların baş bölgesine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla beyin dalgaları kaydedilerek, bu veriler daha sonra analiz edilmek üzere toplanmıştır.

c. Aşama: Veri analizi; toplanan EEG verileri, Python programlama dili ve ilgili analiz kütüphaneleri kullanılarak işlenmiştir. Analize başlamadan önce ham olarak kaydedilen veriler varsa gürültüden temizleme işlemi olan artefakt temizleme, kaydedilen beyin sinyallerini küçük zaman dilimlerine bölme işlemi olan bölütlere ayırma ve sayıca çok fazla olan dataları değerlendirmek yerine sinyalin niteliğini belirten özellik çıkarımı adımlarını içeren verinin ön işlenmesi gerçekleştirilmiştir.

d. Aşama: Makine öğrenimi uygulamaları; yapay zekâ temelli bir sınıflandırma yöntemidir. Çalışmada; EEG sinyallerinden elde edilen verinin tamamı yerine, veriyi

temsil eden öznitelikler çıkarılarak daha küçük boyutlu bir öznitelik vektörü oluşturulmuştur. Öznitelik çıkarımı sürecinde, zaman-frekans analizinde sinyal bileşenlerinin daha net temsil edilmesini sağlayan Senkrosıkıştırma Dönüşümü (SSD) kullanılmıştır. Veri boyutunun azaltılması amacıyla, her veri kümesinin ortalaması ve standart sapması gibi temel istatistiksel işlemler uygulanmıştır. Sınıflandırma aşamasında ise, biyolojik sinir ağlarının işleyişinden esinlenerek geliştirilmiş ve öğrenme yeteneğine sahip bir bilgisayar modeli olan Yapay Sinir Ağları (YSA) tercih edilmiştir. Bu süreçte, yapay sinir ağları içinde Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) sınıflandırma yöntemi kullanılarak modelin performansı değerlendirilmiştir.

e. Aşama: Sonuçlar; yapay zeka algoritmaları, EEG kayıtlarından elde edilen verilerle katılımcıların hangi bölgeden gösterilen cephe görüntülerini izlediğini başarılı bir şekilde tahmin etmiştir. Bu sonuçlar, farklı görsel uyarıların beyin aktiviteleri üzerindeki etkilerini ve EEG sinyallerinin bu uyarılara karşı duyarlılığını göstermektedir.

2.1. Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) Sınıflandırma Sonuçları

Çok katmanlı algılayıcılar (Multilayer Perceptron, MLP), derin öğrenme yöntemleri arasında yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağlarıdır. Bu ağlar, özellikle karmaşık veri kümelerinin sınıflandırılması ve örüntü tanıma gibi görevlerde yüksek doğruluk oranlarıyla dikkat çekmektedir. Çalışmada, cephe tasarımlarının bilişsel etkilerini değerlendirmek amacıyla toplanan beyin sinyalleri, MLP tabanlı bir model ile sınıflandırılmıştır.

Görüntülerin deneklerin beyin sinyalleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Bu analizler konfüzyon matrisi sonuçlarına bakılarak yapılmıştır. Konfüzyon matrisi geliştirilen modelde başarı parametrelerini özetleyen bir matristir. Tahmin oranlarına göre python yazılımından elde edilmektedir. Her görüntü sınıfına ait doğru ve yanlış tahmin edilen görüntü sayılarını ifade etmektedir.

Makine öğrenmesinde kullanılan sınıflandırma modellerinin başarısını tespit edebilmek için, hedef niteliğe ait tahminlerin ve gerçek değerlerin karşılaştırıldığı konfüzyon matrisi dört değerlendirmeden birine sahip olacaktır:

- Doğruya doğru demek (True Positive – TP) DOĞRU
- Yanlışta yanlış demek (True Negative – TN) DOĞRU
- Doğruya yanlış demek (False Positive – FP) YANLIŞ
- Yanlışta doğru demek (False Negative – FN) YANLIŞ (Şirin, 2017).

İkili sınıflandırma için konfüzyon matrisi aşağıdaki tabloda gösterilmektedir (Şekil 5).

		GERÇEK	
		Pozitif	Negatif
TAHMİN	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Şekil 5. İkili Sınıflandırma için Konfüzyon Matrisi (Bilen, 2021)

Konfüzyon matrisi sınıflandırma performansını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Uygulanan sınıflandırma yönteminden elde edilen verilerin sınıflandırılması beyin sinyallerinin net doğruluğu konusunda yeterli olmamaktadır. Bu amaçla verilerin doğruluk

denklemleri hesaplanmaktadır. Sınıflandırma performansı Eş. 1'de verilen formül ile hesaplanmaktadır (Çelik ve Talu, 2021).

$$\text{Doğruluk} = (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN) \quad (1)$$

Elde edilen değerlerin sonucunda modelin başarısı; Precision (Doğruluk), Recall (Duyarlılık) ve F1-score gibi ölçütlerle değerlendirilmiştir. Bu terimlerin ne anlama geldiği aşağıda belirtilmiştir:

- Precision (Doğruluk): Modelin doğru tahmin ettiği "pozitif" sınıfların oranıdır.
- Recall (Duyarlılık): Gerçekten "pozitif" olanları doğru tahmin etme oranıdır.
- F1-score: Doğruluk ve duyarlılığın dengeli bir şekilde birleştiği bir ölçüdür. Bu, modelin genel başarısını gösterir.
- Support (Destek): Her sınıfın veride ne kadar örneği olduğunu belirtir.

Elde edilen sınıflandırma sonuçları ve konfüzyon matrisi, modelin doğruluk düzeyini ve hata dağılımını analiz etmede önemli bir rol oynamaktadır.

3. BULGULAR

Çalışmada, üç farklı yapı cephesinin katılımcılara gösterilmesi sırasında kaydedilen EEG sinyallerine dayalı analizler yapılmıştır. Farklı cephe tasarımlarının beyin aktivitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla EEG verileri işlenmiştir. Daha sonraki aşamada sınıflandırma modeli kullanılarak bir konfüzyon matrisi elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda, modelin performansını değerlendirmek için doğruluk tablosu oluşturulup, sınıflandırma başarısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar; farklı mimari cephelerin nörofizyolojik tepkiler üzerindeki etkisini anlamaya yönelik önemli bulgular sunmaktadır.

Her bir veri için; Median, std, mean, kurtosis, entropy ve skewness olmak üzere altı istatistik özellik çıkarılmıştır. Sınıf1 için alınan veri sayısı; 33 olup, 6 özelliikle birlikte toplam 198 adet, Sınıf2 için alınan veri sayısı; 26 olup, 6 özelliikle birlikte toplam 156 adet, Sınıf3 için alınan veri sayısı; 26 olup, 6 özelliikle birlikte toplam 156 adet istatistik özellik elde edilmiştir.

Toplam veri sayısı 510 adet olup, eğitim ve test verisi sırasıyla %90 - %10 oranındadır. Bu durumda test verisi 51 adet olmaktadır. Test verilerinden; Sınıf1 için 17 adet, Sınıf2 için 20 adet, Sınıf3 için 14 adet seçilmiştir. Bu sınıflardaki test verilerinin sayısını python scikit learn kütüphanesi otomatik olarak seçmektedir.

Yapılan deney çalışmasının sonucunda; Tablo 1'de verilen üç yapıya ait görsellerin konfüzyon matrisi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Konfüzyon matrisi

Gerçek \ Tahmin	Sınıf1 (Huzurevleri)	Sınıf2 (Mastfroş Caddesi)	Sınıf3 (Kıtlbil Mahallesi)
Sınıf 1: (Huzurevleri)	14 (TP)	3 (FP)	0
Sınıf 2: (Mastfroş Caddesi)	5 (FP)	13 (TP)	2 (FP)
Sınıf 3: (Kıtlbil Mahallesi)	2 (FP)	0	12 (TP)

Sınıf 1 (1. satır) Huzurevleri Değerlendirmesi:

- Doğru tahmin (14): Model, 14 örneği Sınıf 1 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (3): Model, 3 örneği Sınıf 2 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (0): Model, hiçbir örneği Sınıf 3 olarak sınıflandırmamıştır.

Sınıf 2 (2. satır) Mastfroş Caddesi Değerlendirmesi:

- Doğru tahmin (13): Model, 13 örneği Sınıf 2 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (5): Model, 5 örneği Sınıf 1 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (2): Model, 2 örneği Sınıf 3 olarak sınıflandırmıştır.

Sınıf 3 (3. satır) Kıtılbil Mahallesi Değerlendirmesi:

- Doğru tahmin (12): Model, 12 örneği Sınıf 3 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (2): Model, 2 örneği Sınıf 1 olarak sınıflandırmıştır.
- Yanlış tahmin (0): Model, hiçbir örneğini Sınıf 2 olarak sınıflandırmamıştır.

Güvenilir doğruluk sonuçları elde etmek için konfüzyon matrisi içindeki değerler kullanılarak analizler yapılmıştır. Üç farklı yapı cephesine verilen bilişsel tepkiler doğrultusunda oluşturulan modelin sınıflandırma başarısı Eş. 1'deki formül ile hesaplanarak, elde edilen doğruluk oranları verilmiştir.

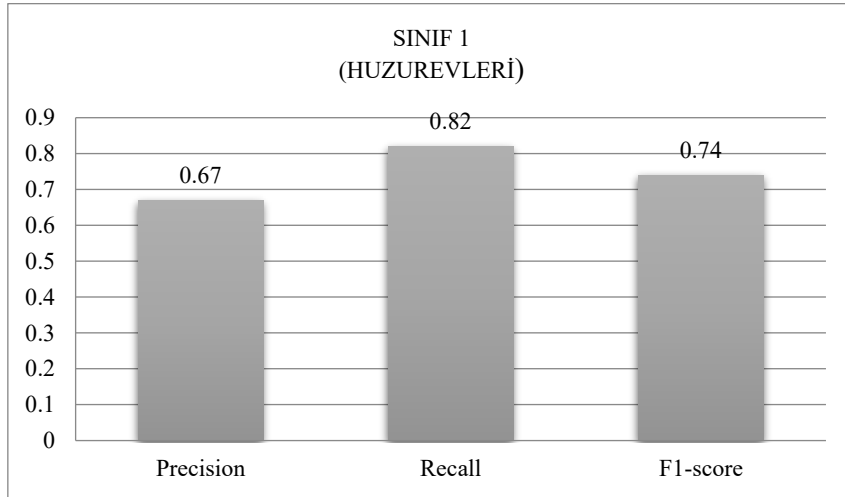
Elde edilen sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde; Sınıf 1 ve Sınıf 3 için, modelin bu sınıfları yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermiştir. Ancak, Sınıf 2 için, modelin bu sınıfı diğer sınıflara kıyasla daha düşük doğrulukla sınıflandırdığını ortaya koymuştur. Sınıf 2; hem Sınıf 1 hem de sınıf 3'e benzer cephe özelliklerine sahip olmasından dolayı yapay zekanın bu sınıfta daha düşük bir sonuç vermesine sebep olmuştur. Bu durum ise yapay zekanın doğru bir algoritma ile çalıştığını doğrulamaktadır. Aşağıda sunulan doğruluk tablosu, modelin farklı cephe tasarımlarını ayırt etme kapasitesini ve sınıflandırma doğruluğunu nicel verilerle göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Doğruluk Tablosu

	precision	recall	f1-score	support
Sınıf1: (Huzurevleri)	0.67	0.82	0.74	17
Sınıf2: (Mastfroş Caddesi)	0.81	0.65	0.72	20
Sınıf3: (Kıtılbil Mahallesi)	0.86	0.86	0.86	14
accuracy	-	-	0.76	51
macro avg	0.78	0.78	0.77	51
weighted avg	0.78	0.76	0.76	51

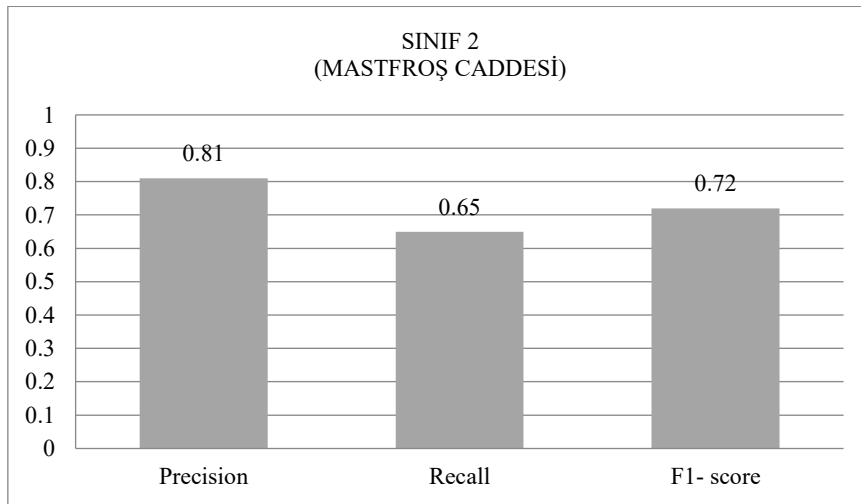
Tabloda; precision, recall ve f1-score parametreleri sınıf bazında değerlendirildiği için her sınıf için ayrı değer hesaplanır. Accuracy tüm sınıfların genel değerlendirmesi olduğu için tek hücrede belirtilmiştir.

Geliştirilen algoritmanın "Sınıf 1" olarak tahmin ettiği örneklerin %67'si doğru tahmin edilmiştir. Gerçekten "Sınıf 1" olan örneklerin %82'si doğru tahmin edilmiştir. Hem doğruluk hem de duyarlılık oldukça iyi bir dengeye sahiptir. Bu sınıfın veride 17 örneği vardır (Şekil 6).



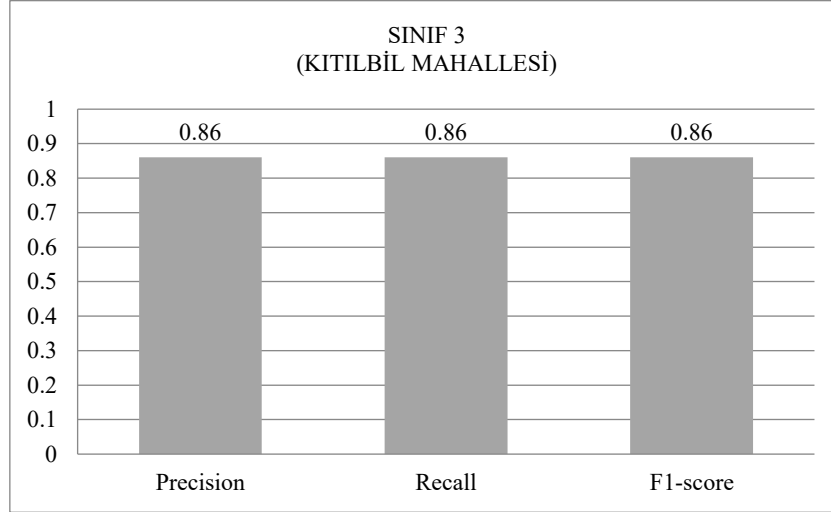
Şekil 6. Sınıf 1 (Huzurevleri)'in değerlendirilmesi

Modelin "Sınıf 2" olarak tahmin ettiği örneklerin %81'i doğrudur. Gerçekten "Sınıf 2" olan örneklerin %65'i doğru tahmin edilmiştir. Sınıf 2 için F1-Score değeri 0.72 bulunmuştur. Bu sınıfın veride 20 örneği vardır (Şekil 7).



Şekil 7. Sınıf 2 (Mastfroş Caddesi)'nin değerlendirilmesi

Geliştirilen algoritmanın "Sınıf 3" olarak tahmin ettiği örneklerin %86'sı doğrudur. Gerçekten "Sınıf 3" olan örneklerin %86'sı doğru tahmin edilmiştir. Hem Precision hem de Recall değerleri yüksek olduğu için bu sınıfta modelin performansı oldukça iyidir. Bu sınıfın veride 14 örneği vardır (Şekil 8).



Şekil 8. Sınıf 3 (Kıtlıbil Mahallesi)'ün değerlendirmesi

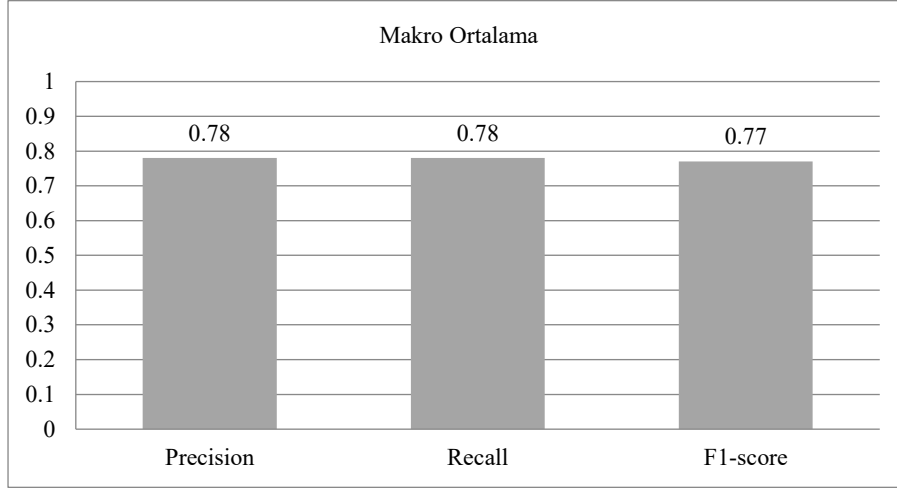
Modelin genel başarısını gösteren f1-score değerleri incelendiğinde; sınıf 1 için 0.74, sınıf 2 için 0.72, sınıf 3 için 0.86 değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sonucunda deneklerin villa tipi yapı cephesinde sınıflandırma başarısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Sınıflandırma başarısının en az olduğu cephe yapısının ise Mastfroş caddesinde yer alan yapının cephesinde olmuştur.

Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) gibi yapay sinir ağı tabanlı sınıflandırıcılarda, genel doğruluk, sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan temel ölçütlerden biridir. Bu ölçüt, modelin doğru şekilde sınıflandırdığı örneklerin toplam örnek sayısına oranını ifade eder. Başka bir deyişle, modelin tahminlerinin ne kadarının doğru olduğunu gösteren bir başarı yüzdesidir. Ancak, sınıf dağılımı dengesiz olduğunda, yalnızca genel doğruluk kullanmak modelin başarısını tam olarak yansıtmayabilir. Bu nedenle, genel doğruluk genellikle diğer performans ölçütleriyle birlikte değerlendirilmektedir.

- Genel Doğruluk (Accuracy): 0.76 (Modelin doğru tahmin oranı %76'dır.)
 - Bu, modelin toplamda doğru tahmin etme oranının oldukça iyi olduğunu göstermektedir.
- Makro Ortalama:

Makro ortalama, çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde her sınıfın performans metriğini (precision, recall, F1- score) ayrı ayrı hesaplayıp, bu değerlerin basit aritmetik ortalamasını alarak elde edilmektedir. Bu yöntemde her sınıfa eşit ağırlık verilir. Ancak sınıfların örnek sayısı dikkate alınmaz. Bu sayede sınıf dengesizliği olan veri setlerinde küçük sınıfların model üzerindeki performansı daha görünür hale gelmektedir. Makro ortalama, modelin tüm sınıflar üzerindeki ortalama başarısını gösterir. Ancak veri setindeki baskın sınıflar yerine tüm sınıfların eşit temsil edilmesini sağlamaktadır.

Tüm sınıflar dikkate alınarak değerlendirildiğinde; F1- score değerinin 0.77 olup, genel olarak görsellerin etkisinin doğru algılandığı ve makine öğreniminin oldukça ayırt edici olduğu görülmektedir (Şekil 9).

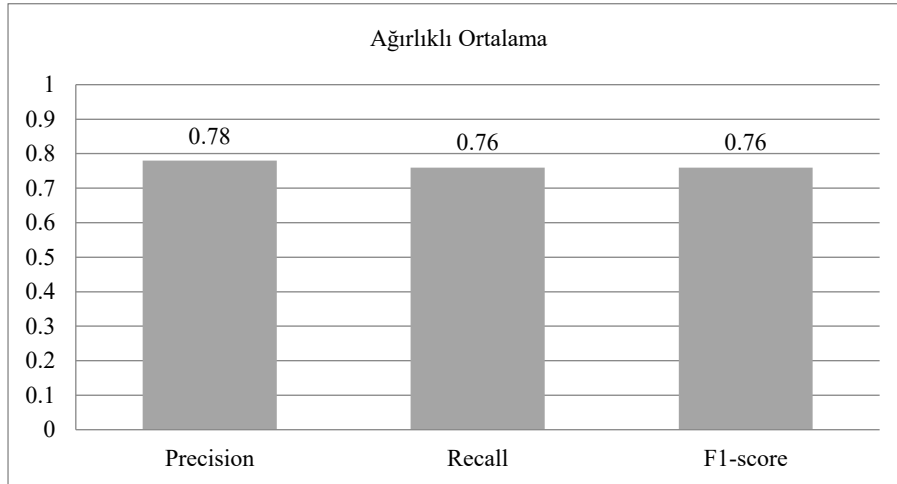


Şekil 9. Makro ortalama değerlendirme

- Ağırlıklı Ortalama:

Ağırlıklı ortalama, her sınıf için hesaplanan performans metriklerinin, o sınıfa ait örnek sayılarıyla (destek) çarpılıp toplam örnek sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir. Bu yöntemde sınıfın veri setindeki ağırlığı göz önünde bulundurulur. Dolayısıyla büyük sınıfların modele olan etkisi daha fazladır. Bu, modelin genel performansını daha iyi yansıtsa da küçük sınıflardaki başarısızlıkları gölgede bırakabilmektedir. Ağırlıklı ortalama, özellikle sınıf dağılımı dengesiz olduğunda modelin genel doğruluğu hakkında fikir vermektedir.

Ağırlıklı ortalama hesaplamalarında; F1- score değerinin 0.76 olması, modelin performansının oldukça iyi olduğunu göstermektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Ağırlıklı ortalama değerlendirme

Çalışmada yürütülen deneyin sınıflandırma sonuçları incelendiğinde; çalışmada kullanılan modelin genel performansı olumlu sonuç vermiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Genel performans değerlendirmesi

SINIF	CEPHE	DEĞERLENDİRME
1 (HUZUREVLERİ)		1 no'lu yapının cephe görsellerinin test başarı oranı f-1 score ölçüm parametresinde %74 sınıflandırma başarıları göstermiştir.
2 (MASTFROŞ CADDESİ)		2 no'lu yapı görselleri test başarı oranı f-2 score ölçüm parametresinde %72 sınıflandırma başarıları göstermiştir.
3 (KITILBİL MAHALLESİ)		3 no'lu cephe görselleri test başarı oranı f-3 score ölçüm parametresinde %86 sınıflandırma başarıları göstermiştir.

Özellikle 3 no'lu görsel için çok yüksek doğruluk ve duyarlılık değerleri elde edilmiştir. Diğer görseller için de başarılı sonuçlar alınmıştır. 2 no'lu görsel de biraz daha düşük bir duyarlılık mevcuttur. Yani makine öğreniminde program bazı görselleri bu sınıfta tanımlayamamıştır. Genel doğruluk %76 olup, bu da modelin görselleri doğru tahmin etme oranının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneklerin beyin sinyallerinden elde edilen veriler; cephelere verilen tepkilerin yapı tanıma için seçilebileceği ve bir bilgi havuzu oluşturulabileceğini göstermiştir. Dolayısıyla tanıtılan cephelerin, geliştirilen yapay zekâ modeli ile dışarıdan herhangi bir deneğe gösterildiğinde beyinde oluşan etki ile sınıflandırılabilirdiği görülmüştür.

Çalışmada belirlenen yüzde değerleri ise sınıflandırma modelinin yüzde üzerinden başarı ölçütünü belirlemektedir. Yüzde değerinin yüksek olması modelin başarı oranının yüksek olduğu ve bakılan görüntülerden hangi sınıfa ait olduğunu ayırt edebildiğini göstermektedir. Çalışmada iyi kötü olarak bakılan yapının; yeni yapı olup kişide yeni (iyi) bir yapı olduğu, eski ve kısmen yıpranmış yapılara bakıldığında ise eski(kötü) bir yapı olduğu ve bu şekilde sınıflandırma yapılabildiği belirtilmiştir. Yöntemde kullanılan program ve yaklaşım; algı ölçümünde net değerler vererek, soyut olan algı değerlendirmesini somut hale getirmiştir. EEG (Elektroensefalografi) kullanılarak algı analizinin, mimari tasarım süreçlerine önemli katkılar sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tasarım sürecinde alınan birçok karar, genellikle öznel değerlendirmelere dayanır. EEG verileri, bu süreçlere nesnel bir bakış açısı kazandırmaktadır. Özellikle kullanıcı geri bildirimlerinin nörobilimsel verilerle desteklenmesi, daha rasyonel ve etkili çözümler üretmeye olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, EEG tabanlı algı analizi, kullanıcı merkezli ve etkili mimari tasarım süreçlerinin oluşturulmasında büyük bir potansiyel sunmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle bu tür yaklaşımların mimarlık pratiğinde daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aydemir Ö., Kayıkçıoğlu T., Eeg tabanlı beyin bilgisayar arayüzleri, Akademik Bilişim'09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 11-13 Şubat 2009, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2009
- Başar, T., Mimari korumanın insanlar üzerindeki bilişsel etkilerinin EEG cihazı ve Eye Tracking Yöntemi ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2022
- Banai, M., Hatami, J., Yazdanfar, A., Gramann, K., Walking through Architectural Spaces: The Impact of Interior Forms on Human Brain Dynamics, *Frontiers in Human Neuroscience*. 11:477, 2017
- Bilen, B., Karışıklık Matrisi(Confusion Matrix), <https://burhanbilen.medium.com/kar%C4%B1%C5%9F%C4%B1kl%C4%B1k-matrisi-confusion-matrix-990dfc718653>, Yayın Tarihi: 04.02.2021, Güncellenme Tarihi: 04.02.2021Erişim Tarihi: 12.01.2025
- Chaudhary M., Mukhopadhyay S., Litoiu, M., Sergio, L., Adams, M., Understanding Brain Dynamics for Color Perception using Wearable EEG headband. *CASCON'20*, s. 13-22, 2020
- Çelik, G., Talu, M. F., EEG siallerinden bakılan görselin üretilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 129-138, 2021
- Elsadek, M., Liu, B., Lian, Z., Green Façades: Their Contribution To Stress Recovery And Well-Being İn High-Density Cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. Cilt:46, 126446, 2019
- Javanmanesh, S., Analysis of architectural composition of public buildings in ankara (1923-2014) within the context of visual perception. *Gazi University Journal of Science Part B: Art Humanities Design and Planning*, 6(2), 99-111, 2018
- Kim, S., Park, H., Choo, S., Effects of Changes to Architectural Elements on Human Relaxation-Arousal Responses: Based on VR and EEG. *İnternational Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(8): 4305, 2021
- Minez, B., Mimarlık eğitimi sürecinde bireyin algı değişiminin görsel çevre değerlendirme teknikleri ile incelenmesi", Edirne, 2013
- Naserabad, A., Shahrودي A., The effect of an urban element (bridge) on function of citizens' brain. *Journal of Advances in Cognitive Sciences*, Cilt:22, Sayı:2, s. 82-101, 2020
- Shemesh, A., Talmon, R., Karp, O., Amir, I., Bar, M., Grobman, Y., Affective response to architecture – investigating human reaction to spaces with different geometry, *Architectural Science Review*, Volume 60, 2017 - Issue 2, 2016
- Şirin E., Hata Matrisini (Confusion Matrix) Yorumlama, VBO Blog, <https://www.veribilimiokulu.com/hata-matrisini-confusion-matrix-yorumlama/>, Yayın tarihi: 02.07.2017, Güncellenme tarihi: 02.07.2017, Erişim Tarihi: 12.01.2025
- Vartanian, O., Navarrete, G., Chatterjee, A., Fich, L., Mora, J., Leder, H., Modrono, C., Nadal, M., Rostrup, N., Skov, M., Architectural design and the brain: Effects of ceiling height and perceived enclosure on beauty judgments and approach-avoidance decisions, *Journal of Environmental Psychology*, Volume 41, Pages 10-18, Mart, 2015
- Zou, Z., Ergan, S., Fisher, D., Curtis, C., Quantifying the Impact of Urban Form on Human Experience: Experiment Using Virtual Environments and Electroencephalogram, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Volume 35, Issue 3, Mayıs, 2021