



Elektrik Akımı İle Oluşturulan Yapay Duygular: Bir STEM Öyküsü ve Yarattığı Eğitim Potansiyeli

Cem ÖZKAN¹, Salih ÇEPNİ²

¹Yüksek Lisans Öğrenci, Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bursa-Türkiye,

²Prof. Dr., Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bursa-Türkiye, cepnisalih@yahoo.com

ÖZET

Duygu, biyolojik temelleri olan ve çoğunlukla dıştan aldığımız uyarınlarla beynimizde algıladığımız bir fenomendir. Çevremizle etkileşim içinde, çevreyi algılayarak duygulanır ve davranışlarımızı oluştururuz. Bu projenin çıkış noktası deri yüzeyine dıştan elektrik uygulayarak yapay yoldan duygu oluşturulup oluşturulamayacağına cevap aramaktır. Gerekli olan fen, matematik, mühendislik ve teknoloji boyutları irdelenerek bu yolda kullanılacak bir test aygıtı (stimülatör) geliştirme süreci makalede detaylı olarak anlatılmıştır. Temel elektroteknik bilgisi ve ucuzlayan teknolojik aletlerden yararlanarak, tasarım becerimiz ve araştırma deneyimlerimizle amaca hizmet edecek bir elektrikli stimülatör geliştirilmiş ve deneyler yapılmıştır. Bu sürecin anlatıldığı çalışmada fen eğitimine katkısı boyutunda iki alt hedef güdülmüştür; Birincisi stimülatörün nasıl tasarlanabileceğini STEM perspektifinden teorik ve uygulamalı olarak detaylı şekilde ortaya koymak, ikincisi yaşanmış olan bu öyküden hareketle STEM Eğitiminde öğretmenlerin, neyi nereye kadar yapabileceklerini, nerede mentor desteği almaları gerektiğini ve müfredatla nasıl bir entegrasyon kurabileceklerini görüp değerlendirmeleri ve tartışmalarınıdır.

Anahtar Kelimeler: Stimülatör, mühendislik tasarımı, reseptör, aksiyon potansiyeli, STEM Eğitimi

Artificial Emotions with Electricity Current; A STEM Story and Educational Potential

ABSTRACT

Emotion is a phenomenon that we perceive in our brains with biological foundations and mostly from external stimuli. In our interaction with our environment, we perceive and affect our environment. The starting point of this project is to search for an answer to the artificial skin by applying electricity to the skin surface. The process of development of the artificial skin necessary from STEM perspective discussed in detail. An electrical stimulator has been developed and experiments have been carried out to serve the purpose with our design skills and research experience by utilizing basic electrotechnical knowledge and cheap technological tools. In this way, two sub-goals in the dimension of contribution to science education have been achieved ; first, we managed to present how the stimulator can be designed in detail from the perspective of STEM in a theoretical and practical manner, and the second the teachers willing to used STEM Education in their classroom will be able to evaluate and discuss what they can do, where they should get mentor support and how they can integrate this type of STEAM materials to their science.

Keywords: Stimulator, engineering design, receptor, action potential, STEM training

GİRİŞ

U.Ü. Eğitim Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans danışman hocamın derslerine devam etmemin sayesinde STEM'in eğitimdeki yeri konusunda güçlü bir bakış açısı kazandığıma inanıyorum. Sonrasında kendisinin danışmanlığında ve önerileri doğrultusunda özgün bir STEM uygulaması gerçekleştirmeyi düşündüm. Bu fikir, bu öykünün başlangıcıdır. Geçtiğimiz yıl EMO'un (Elektrik Mühendisleri Odası) düzenlediği hesaplamalı sinirbilim konulu Akademik Kampa katıldım. Nörologlar, biyologlar, biyomedikal mühendisleri, elektronik mühendisleri ve eğitimcilerin katıldığı bilim etkinliğinde multidisiplinerlik dikkat çekiciydi. Dinlediğim sunumlardan çok etkilendim; fiziksel uyarıların reseptörlerle sinir sinyallerine dönüşmesi, bu sinyallerin beyne taşınması, beyinde verilerin işlenmesi ve motor sinirlerle kaslarımızı hareket ettirmemiz yani davranış oluşturmamız.

Öyle bir sunum vardı ki, izlediğimde sinir bilimindeki gelişmelerin insan ve insanlık için müthiş bir çığır açacağı kanısına vardım: Bedenini kullanamayan felçli bir kadın beyin ameliyatı oluyor. Beynin kol kaslarını kontrol ettiği bölgesine ameliyatla elektrotlar saplanıyor. Kafatasından çıkan kablolar, robot kollarını hareket ettirecek bir elektronik devreye bağlanıyor. Kadın tecrübe ederek yavaş yavaş o robot kolları kontrol etmeyi öğreniyor ve kendi kendini beslemeyi başarıyor. Beyni ile kontrol ettiği robot

sayesinde kaşık dahi kullanarak yemek yiyebiliyor. Bu alışma çok özel ve ağır şartlarda gerçekleştirilmiş olsa da bana göre geleceğe güçlü bir ışık tutuyordu.

Kamptaki bilgilenmeler bende şu çağrışımları yaptı: Acaba cerrahi müdahale yapmadan deri yüzeyine uygulayacağımız öyle bir elektrik sinyal şekli var mıdır ki bu yolla yapay duyu ve duygu oluşturmak mümkün olsun? Öyle ki deride istediğimiz noktaya, bölgeye, uygun şekilde elektrik vererek, yapay olarak istediğimiz oranda sıcaklık, soğukluk, titreşim veya basınç hissi gibi hisler uyandırabilelim...

İstenen elektrik uyarımları sağlayacak bir düzenek geliştirmek mümkün müdür? Deneyimlerimden, temel elektroteknik bilgimden ve literatür okumalarımınan böyle bir düzenek yapılabileceğini sezinledim. Bunun başarılması durumunda; eğitim, sağlık, PC oyun sektörleri başta olmak üzere birçok alanda pazarlama değerli olan cihazlar geliştirilebilir. Bir iki örnek vermek gerekirse, emotional mouse'lar, görme engelliler için elektronik kitap arayüzü, bilim merkezlerine deney düzenekleri gibi ürünler. ngrlebileceği gibi böylesi bir cihazı geliştirme süreci ileri teknoloji alanında disiplinler arası ortak bilimsel çalışmalar yapmak anlamına gelmektedir. Çünkü araştırma konusu çok disiplinli dil kullanımı ve birçok alan uzmanlığını gerektirmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda kurgusu yapılan inovatif ürünlerin geliştirilebilirliğine dair n testler yapmayı ve uygulamalarla güven duygusu kazandırmayı sağlayacak elektrikli bir stimülatörün (bir elektrik devresi ve elektrotlar vasıtası ile sinir ve kas gibi uyarılabilir canlı dokulara dıştan yapay uyarı oluşturan cihaz), STEM eğitim yaklaşımlarına dayalı olarak geliştirme süreci anlatılmıştır. STEM eğitiminde geliştirilecek ürün ve yöntemlerin hayat bağlamlarının bulunması önemli bir husustur. Hayat bağlamının etkili şekilde verilebilmesi için makalede öyküsel bir dil kullanılmış ve danışmanın rehberliğinde yazılmıştır. STEM'in (Science, Technology, Engineering, Mathematics baş harfleri) bir kısaltılma olduğu, fen, teknoloji, mühendislik ve matematiğin birbiriyle entegre bir şekilde öğretilmesini içeren ve okul öncesinden yükseköğretime (K-16) kadar tüm süreci kapsayan bir eğitim yaklaşımı olduğu epni'nin (2017) alışmalarında açıklanmıştır. Bir STEM sürecin aşağıda detaylı olarak anlatıldığı çalışmada fen eğitimine katkısı boyutunda iki alt hedef güdülmüştür; birincisi stimülatörün nasıl tasarlanabileceğini STEM perspektifinden teorik ve uygulamalı olarak detaylı şekilde ortaya koymak, ikincisi yaşanmış olan bu öyküden hareketle STEM Eğitiminde ğretmenlerin, neyi nereye kadar yapabileceklerini, müfredatla nasıl bir entegrasyon kurabileceklerini ve nerede mentor desteği almaları gerektiğini görüp, değerlendirmeleri ve tartışmalarınıdır.

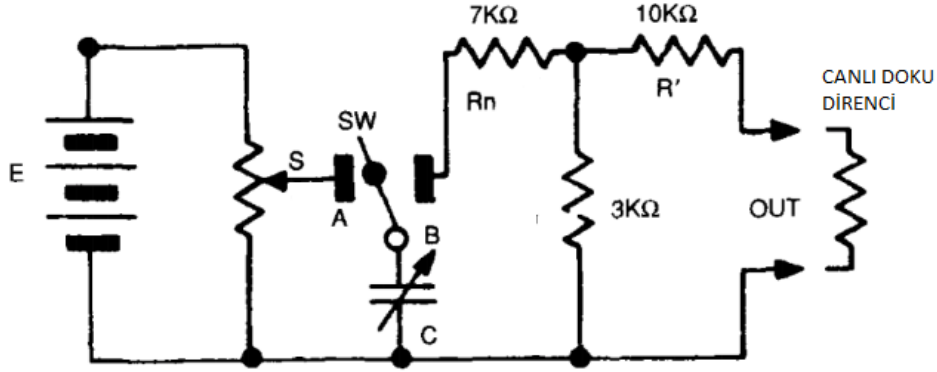
STİMÜLATÖR TASARIMININ TEKNOLOJİ BOYUTU

Elektrikli Stimülatörler günümüzde çok yaygın olarak fizyoterapide kullanılmaktadır. Ayrıca kişisel bakım pazarında yağ eritici, kas gevşetici fonksiyonlar için geliştirilmiş birçok ürün bulunmaktadır. Elbette bunlar laboratuvar deneyleri için uygun ürünler değildirler. Çünkü deneylerde istenen farklı uyartımları sağlamak için farklı elektrik dalga şeklini sağlayabilecek, programlanabilecek cihazlara ihtiyaç vardır. Oysa piyasadaki fizyoterapi cihazları ile bunlar sağlanamamaktadır.

Elektrik Stimülatör'lerin tarihi 1791 yılında Galvani'nin kurbağa sinir kas preparatı üzerinde yaptığı uyartım deneylerine kadar götürülebilir. Yine o dönem İngiltere'de olağanüstü bir gösteride, idam edilen bir mahkûmun kesik başına elektrik verildiğinde yüz kaslarının seğirdiği (hareket ettiği) görülmüş, bu deneyler yaşamın kaynağının elektrik olduğu, elektriğin ölüleri dahi diriltebileceği gibi inanışların gelişmesine neden olmuştur. O zamanlar deneylerde elektrik kaynağı olarak statik elektrik makinesi kullanılıyordu. Üretilen statik elektrik Leyden Şişesi denilen bir çeşit elektrik sığıası kullanılarak biriktiriliyor ve deşarj edilmesi sureti ile uyartım deneyleri gerçekleştiriliyordu. Leyden Şişesinde biriktirilen elektrik yükü insanlar üzerinde deşarj ettirilmesi ve yaşanan elektrik şokları o günlerin en popüler eğlencelerini oluşturuyordu (Geddes, 1994).

1850'de Helmholtz, Pouillet balistik sarkacını modifiye ederek, kontrol edilebilir kare dalga elektrik akım kaynağı oluşturmuş ve dokular üzerinde deneyler yapmıştır. Kare dalga elektrik akım ya da gerilimi dendiğinde dalga şeklinin dikdörtgen formunda olduğu anlaşılır. O dönem için bu dalga formunun genliği ve süresini ayarlamak yenilik anlamındaydı. 1858 yılında Bernard dokuları irite edebilen, uyaran bimetale bir kısıkaç geliştirmiştir. Alternatif akım kaynağı olarak geliştirilen çok farklı indüksiyon uyarıcısı (Faradik akım stimülatörü), 1800'lerin ortasında kullanılmaya başlandı. Yaklaşık 1850'den itibaren fizyoloji laboratuvarlarında tercih edilen uyartıcı cihazlar bu tip stimülatörler olmuştur (Geddes 1994).

1909'te Louis Lapicque, geliştirdiği kapasitif stimülatör (Şekil.1) ile dokunun elektrikselleştirilmesini tanımlayan araştırmalar yapılmış ve eletrofizyolojide önemli iki kavramı Kronaksi ve Reobaz'ı ortaya koymuştur. Reobaz bir dokunun uyarılabilmesi için gerekli en az elektrik miktarını, Kronaksi ise Reobazın iki katı akım geçtiğinde dokunun uyarılma süresini tanımlar. Yine o dönemlerde tıp alanında stimülatörler kullanılarak ölçülen kronaksi süreleri, motor sinir kronaksisi 0.1 msn ve iskelet kasının ki 3 msn bilgisiyle karşılaştırılarak hastaların sinir yaralanmaları teşhis ediliyordu (Geddes 1994).



Şekil.1 Lapique Stimulatörü Eşdeğer Devresi

İlk olarak Wall ve Sweet, deri üzerine elektrik uygulayarak sinirleri uyarmaları sonucunda kronik ağrıların geçici olarak iyileştiğini belirlemişlerdir (Tekin, 2006). Erken elektronik uyarıcılardan biri de Rahm kapasitör deşarj cihazıdır. Bu cihaz da 1940'ların başında Penfield tarafından insan beyni korteksini haritalamak için kullanılmıştır (Geddes, 1994).

Önceleri tıpta tedavi amaçlı olarak da kullanılan elektriksel uyartım tekniği son zamanlarda daha çok teşhis ve laboratuvar deneyleri amaçlı kullanılmaktadır. Bu tür laboratuvar cihazları çok pahalı olup araştırma sınırlarını destekleyecek esneklikte değildir. Laboratuvarlarda araştırmacılar tarafından yapılabilecek elektriksel uyarıcılar daha ucuz ve daha fonksiyonel olabilmektedir (Arar, Güçlü ve Özkan, 2014).

Burada konu edilen stimulatör, istenen araştırmaları yapabilecek asgari donanımda ve kolay erişilebilir komponentlerle ekonomik ve özgün bir cihaz tasarımıdır. Bu tasarımın anlatıldığı çalışmada eğitim bilim bakımında iki amaç güdülmüştür: Birincisi stimulatörün nasıl tasarlanabileceğini STEM perspektifinden ortaya koymak, ikincisi yaparak uygulayarak, deneyim, bilgi ve beceri kazanarak güven duygusu sağlamaktır.

STİMÜLATÖR TASARIMININ BİLİM BOYUTU

Bu çalışmada eğitim programları yönünden lise düzeyi esas alınmıştır, çalışma ile aşağıda belirtilen fizik ve biyoloji kazanımlarının sağlanması ve/veya pekiştirilmesi öngörülmektedir:

Fizik (MEBa, 2018)

11.2.1.1. Yüklü cisimler arasındaki elektriksel kuvveti etkileyen değişkenleri belirler

11.2.1.2. Noktasal yük için elektrik alanı açıklar.

11.2.1.3. Noktasal yüklerde elektriksel kuvvet ve elektrik alanı ile ilgili hesaplamalar yapar.

- 11.2.3.3. Yüklü parçacıkların düzgün elektrik alanındaki davranışını açıklar.
- 11.2.3.4. Sığa (kapasite) kavramını açıklar.
- 11.2.5.1. Alternatif akımı açıklar.
- 11.2.5.2. Alternatif ve doğru akımı karşılaştırır
- 11.2.6.1. Transformatörlerin çalışma prensibini açıklar.

Biyoloji (MEBb, 2018)

- 11.1.1.1. Sinir sisteminin yapı, görev ve işleyişini açıklar.
 - a. Sinir doku belirtilir. Yapılarına göre nöron çeşitlerine girilmez.
 - b. İmpuls iletiminin elektriksel ve kimyasal olduğu vurgulanır.
 - c. Sinir Sistemi merkezî ve çevresel sinir sistemi olarak verilir.
- 11.1.1.5. Duyu organlarının yapısını ve işleyişini açıklar.
 - a. Dokunma duyusu olan deri verilirken epitel ve temel bağ doku kısaca açıklanır.
 - b. Duyu organlarının yapısı şema üzerinde gösterilerek açıklanır.

Zar Potansiyeli:

Hücre zarı, sitoplazmayı hücrenin içinde bulunduğu elektrolit ortamdan elektriksel olarak yalıtır. Canlı hücrenin içinde negatif iyon derişimi dış ortama göre daha fazla, pozitif iyon derişimi daha azdır. İyon derişim farkının yarattığı potansiyel farkına membran potansiyeli ya da zar potansiyeli denir. Tüm hayvan hücrelerinde bu özellik mevcuttur. Ancak sinir hücreleri bu özellikleri ile ihtisaslaşmıştır. Hücre membran potansiyeli normalde, yani aktif değilken yani istirahat halinde iken mikro elektrotlarla ölçüldüğünde -90mV civarında olduğu görülebilir (Guyton, 2006). Hücre tipine göre istirahat halindeki membran potansiyeli farklılıklar göstermektedir. Kalp kasında -65mV, sinir hücresinde -80mV, iskelet kasında -90mV gibi (Koz, 2017).

Membran yüzeyinde bulunan özel proteinler sayesinde zar potansiyeli sürekli korunabilmektedir. Bu özel proteinler Na⁺ ve K⁺ pompaları diye adlandırılmaktadır. Denge durumu bir şekilde bozulursa, zar üzerinde başka özel proteinler devreye girer, iyon derişimlerinde bir dalgalanma yaşanır, fakat 1-2 milisaniyede denge durumu tekrar kazanılır (Jackson vd, 2013).

Nöron membranının uzayan kısmı olan akson, sanki bir elektrik telinin sinyali ilemesi gibi davranır. Canlı bedenini aksonlarıyla saran sinir hücreleri karmaşık olan sinir sistemini meydana getirir. Uçta, dış ortamla temas halinde olan reseptörler bulunur. Reseptörler fiziksel uyarıları alarak hücrenin -80mV denge potansiyelini bozan canlı

mekanizmalar olarak görev yaparlar. Uçtan alınan sinyaller merkezi sinir sistemi ve beyne iletilir. Örneğin parmak ucuna bir toplu iğne battığında batma bölgesinde bulunan reseptörler bu fiziksel teması sinir hücrelerinde elektriksel sinyallere dönüştürecekler ve sinyaller aksonlar boyunca beyne taşınacaktır.

Aksiyon Potansiyeli (AP) ve Sinir Duyu İletimi:

Bu kavramların verilif amacı, sinir duyu iletiminin doğasını kavramaya yardımcı olması düşüncesidir.

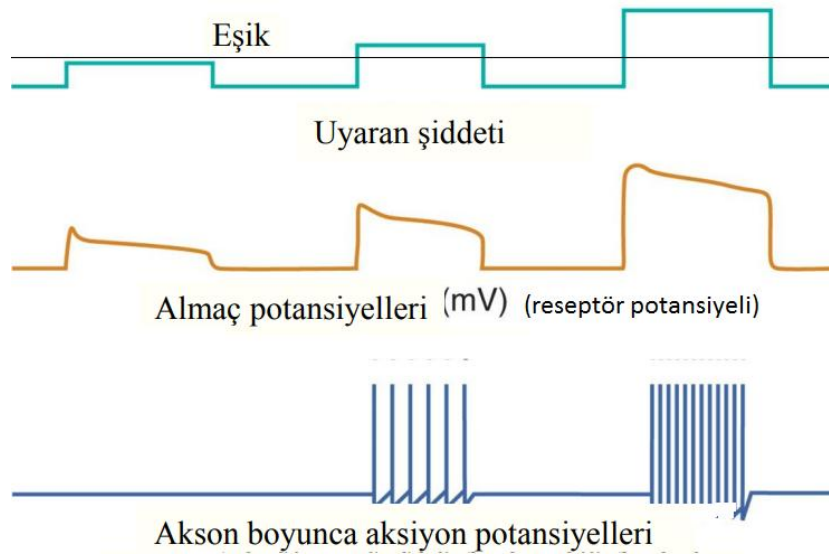
Duyu iletileri aksiyon potansiyeli adı verilen elektriksel işaretin sinir aksonları boyunca iletilmesi ile sağlanır. İstirahat potansiyeli haline kutuplanmış (polarize olmuş) zar denilir.

Yukarıda değinildiği gibi zarın polarize halinin dengede kalmasını zar üzerinde bulunan Na^+ ve K^+ pompaları sağlamaktadır. Anılan pompalar ATP harcayarak membranın polarizasyonunu korur. Zar üzerinde bulunan voltaja duyarlı AP oluşumunu sağlayan kapılar bulunmaktadır. AP bir elektrik sinyali olarak evreleri aşağıda verilmiştir;

Depolarizasyon: Zarın sodyum iyonlarına karşı geçirgenliği artar ve Na^+ iyonları hızla hücre içine girerek zar potansiyelini pozitif değere (+10...+20 mV civarı) ulaştırır.

Repolarizasyon: Zarın K^+ iyonuna karşı geçirgenliği artar ve hücre dışına çıkararak zar potansiyeli tekrar tersine polarize olmaya başlar (Jackson vd, 2013).

Konunu daha iyi anlaşılması için aşağıdaki linkten 8 dakikalık videonun izlenmesi tavsiye edilir;



Şekil 2. Uyarın Etkisi ve AP Sıklığı Arasındaki İlişi Diyagramı

https://www.youtube.com/watch?v=MtJyHp_AZL8&feature=related

Zar potansiyeli -55mV eşik değerini aşacak şekilde uyarılır ise aksiyon potansiyeli oluşarak akson boyunca sinapsa kadar ilerler ve sinapsların bağlantıda olduğu hücresleri kemotransmitter madde iletimi ile uyarır. Aksiyon potansiyelinin uyarılma eşiği vardır. Uyarılabilen (excitable) bir hücre eşik ve eşik üstü bir uyarana tek tip bir aksiyon potansiyeli ile yanıt verir (şekil.2). Eşik altı uyarana bir aksiyon potansiyeli oluşmaz. Buna "Ya Hep Ya Hiç Yasası" denir. Bir sinir hücresi, bir kas hücresi ve kalbin tümü Ya Hep Ya Hiç yasına uyar (Jackson vd, 2013).

Aksiyon potansiyelinin genliği değişmez. Afferent nöronlar, duysal iletileri AP olarak merkeze Merkezi sinir sistemine (MSS) taşırlar. Uyarının şiddeti aksiyon potansiyelinin frekansı ile belirlenir (şekil.2). AP olarak iletinin beyine ulaşıp bilinçli farkındalığına bakılmaksızın oluşan etkiye duyu denir. Duyunun farkında olunmasına ise algılama denir (Aykaç, 2018). Duyuların insanın i dünyası ile etkileşmesine ise uygulanma diyebiliriz. .

Sinir demetleri, iletim hızları çok farklı olan sinir liflerinin bir kılıf içinde toplanması ile oluşurlar. Bu sinir demeti aynı anda birçok sinyal taşıyor olabilir. Bu demetin herhangi bir noktasında gerilim ölçülecek olsa her sinyalin yaratacağı etkinin tek tek toplamı ölçü değeri olacaktır. Bu bileşik değeri BAP kısaltması ile yani birleşik aksiyon potansiyeli tanımı ile ifade edilmiştir (Savaş, 2015).

Deri ve Duyu Reseptörleri:

Bu kavramların verilif amacı, deriyi ve deride bulunan reseptörleri tanıma düşüncesidir. Dışta epidermis katı ve onun altındaki dermis katından oluşan deri kalınlığı 4 mm. den 0.5 mm. ye kadar değişebilir. Deri yüzölçümü; yetişkin kadında 1.65 m², ve erkekte 1.85 m².dir. Derinin basınç reseptif alan duyarlığı;

Dil ucu 1mm

Parmak ucu 2 mm

Avuç içi 11mm

El sırtı 32mm

Boyun arka yüzü 54mm

Sırtın orta kesimi 67mm dir.

Fizyolog von Frey, deri üzerinde yaptığı uyarım deneyleri ile deri duysal alanlarını hassas bir şekilde tespit etmiştir. Deri eşik uyarana enerjisi 0,3 erg dir (Tanalp, 1975). Bir erg enerji, 10⁻⁷ Joule'e denk olduğu ve bunun da 1mg lık bir cismin 1cm kadar kaldırılması için gerekli enerji olduğu düşünöldüğünde hassasiyet daha iyi anlaşılabilir.

Sinir hücresinin uyarımı periferik sinir hücrelerinin uçlarında bulunan reseptörler (duyargalar) veya duyu reseptör hücreleri sayesinde gerçekleşir. Reseptörler fiziksel uyarıyı sinir ileti sinyallerine dönüştürürler. Reseptörü etkinleştiren enerjiye ya da kimyasala uyarı (uyartı, stimulus) denir. Çalışmamızla ilgili olan dokunma (Mekanoreseptörler: Basınç/gerilme gibi mekanik uyarılara duyarlı) ve sıcaklık (Termoreseptörler: Sıcak/soğuk duyularını fark edenler) ilgili reseptörler (Resim.3) aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

Meissner cisimciği: Tüysüz deride, parmak uçları, dudaklar, vs. bulunur. Vibrasyona duyarlıdır, çok hafif cisimlerin deri üzerindeki hareketini de hisseder.

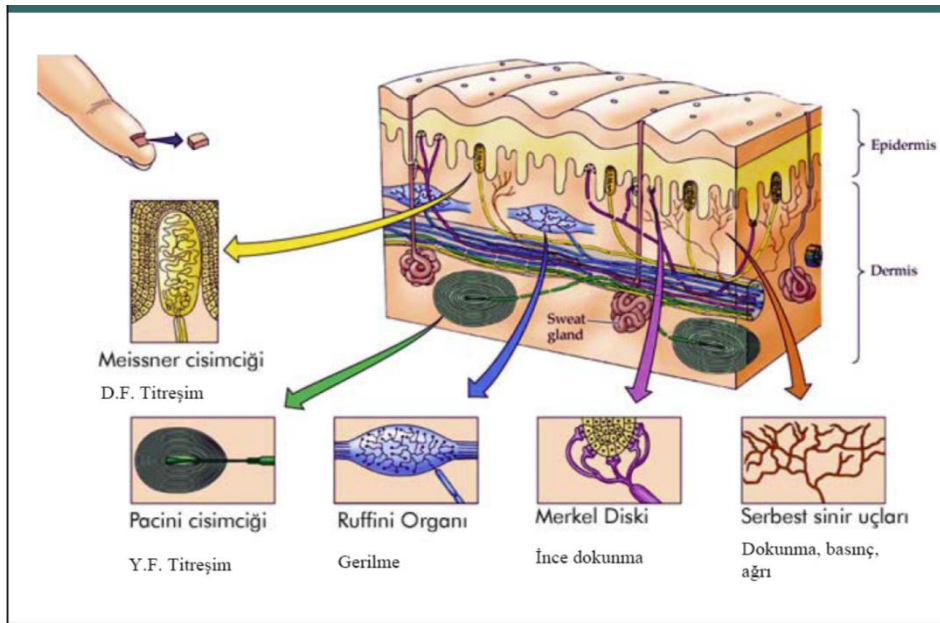
Pacini cisimciği: Dokuların sürekli hareketi ile uyarılır, vibrasyona duyarlıdır.

Merkel diskleri: Dokunma hissi; yüzey yapısının saptanması, deriye sürekli temas eden cisimlerin algılanmasına duyarlıdır.

Ruffini sonlanmaları: Ağır ve devamlı dokunma; basınç sinyallerinin sürekliliğinin bildiriminde etkilidir, sıcaklık ta algılarlar.

Kıl dibi reseptörleri: Dokunma, kıl hareketi, nesnelerin ilk temasını ve hareketini saptar Serbest sinir uçları: Her yerde bulunur, dokunma, basınç, ağrı, gıdıklanma

Krause cisimciği: soğuk reseptörü, 10-40 °C arasında duyarlıdır(Canan, 2012).



Şekil 3. Parmak Derisi Kesiti ve Reseptörler

Elektroforez:

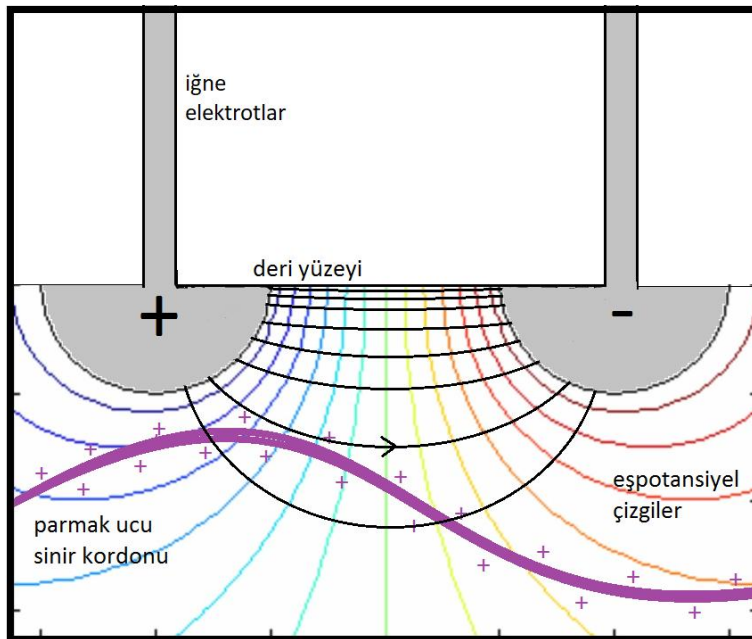
Bu kavramın veriliş amacı, deri yüzeyine elektrik uygulandığında aksonların dış yüzey etrafındaki (+) iyonların alan etkisi ile katoda nasıl sürüklendiklerinin, dolayısı ile yapay olarak AP nin nasıl olduğuunun doğasının anlatılmasıdır.

Parmak derisine temas ettirilen bir elektrot çifti Şekil.4’de görüldüğu gibi modellenebilir. Modelde yarı küreler toplu iğne başlarını temsil ettiğinde, iğnelere gerilim uygulandığında parmak derisi içerisinde bir elektrik alan dağılımı ve buna bağlı akı çizgileri meydana gelir. Bu durumda elektroforez Őartları oluşmuştur; sıvı içindeki yüklü taneciklerin elektrik alan etkisi ile hareket etmesine elektroforez denir (Barutçu,2012).

Uygulanan gerilimden dolayı oluşan elektrik alan etkisi ile bir iyon akışı meydana gelir. Yüklü bir parçacık veya iyonun elektroforetik hız V , aşağıdaki Şekilde yazılır:

$V = \mu \cdot E$, burada E elektrik alan büyüklüğu, μ ise mobilitedir. Mobilite, iyonların çözelti içerisindeki hareketlilik özelliği olarak tanımlanır. Mikroakışkan sistemlerde çözelti içerisindeki farklı parçacıkların mobiliteleri farklıdır (Kaya, 2002).

Derinin iç kısmında oluşan elektrik alan sinir kordonu çevresini de konumuna göre etkileyecektir. Bilindiğu gibi sinir kordonu çevresinde istirahat hali olduğu durumda + yüklü iyonlar toplanmış durumdadır. Elektrik alan etkisi ile + yüklü iyonlar buldukları noktadaki elektrik alan Őiddeti ve elektroforetik mobiliteye bağlı olarak katoda doğru yönelirler. Uygulanan elektrik alan süresine bağlı olarak sinir lifi boyunca her noktada etki farklıdır. Mesela 1 ms süreli bir etki, kordon boyunca bazı yerlerde aksiyon potansiyelini başlatmaz iken bazı yerlerde başlatabilir.



Şekil 4. Bu Çalışma için Tasarlanan Parmak Derisine Elektrik Uygulanma Modeli

Diğer yandan iğnelerin polaritesinin değişmesi bu etkinin dağılımını da değiştirecektir. Örneğin bir yönde oluşan etki ile aksiyon potansiyeli oluşurken, polarite değiştiği zaman bu etki oluşmayabilir.

Duygu çoğunlukla dıştan aldığımız uyaranlarla beynimizde algıladığımız biyolojik temelleri olan bir fenomendir. Ancak bunun doğasındaki fizik, kimya ve biyolojiyi öğendiğimizde yapay şekilde duyu oluşturulabileceği anlaşılabiliyor; Duyu reseptörleri dışımızdaki fiziksel değişimlere duyarlıdır ve bunları aksiyon potansiyeli (AP) adını verdiğimiz elektriksel sinyallere dönüştürürler. AP'nin genliği sabit, ancak frekansı uyartım şiddetine bağlı olarak artan bir doğası vardır. AP sinyalleri, duyuları sinir aksonları boyunca merkezi sinir sistemine taşırlar. Sinyaller burada işlenir ve duyunun anlamına göre davranışlar oluşur.

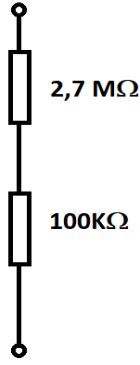
Sinir iletim yolunda uygun bir elektrik alanı oluşturabilirsek o lokalde yapay olarak AP oluşturulabilir. Oluşan bu sinyalde beyne iletilir. Eğer elektrik alanı ile beynin tanıdığı duyular oluşturacak sinyal formları yaratabilirsek, yapay yolla duyu elde etmiş oluruz.

STİMÜLATÖR TASARIMININ MATEMATİK BOYUTU

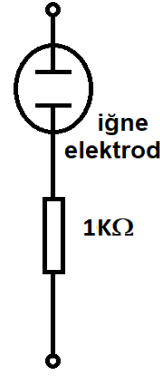
Paralel ve şönt dirençlerin hesabı: Bu tasarımda iğne elektrotlara uygulanan gerilim ve deriye temasla geçen akımların değerlerini bilmek için şekil.10 daki düzenek devre şemasına göre bazı matematiksel hesapları yapmak gerekmektedir: Ölçümler arduino kart vasıtasıyla yapılmaktadır. Arduino kart analog verileri 5V/1023 hassasiyetle ölçer. Sanal osiloskop seri porttan gelen 5 V bilgisini 1023 birim olarak vermektedir. Dolayısı ile 100V ölçmek istiyorsak bunu önce 5 volta indirgememiz gerekir. Bu amaçla ölçü devresinde şekil.5'deki gibi gerilim bölücü kullanılmıştır:

Gerilim bölücü düzenin toplam direnci 2,8MÖhm'dir. 100KÖhm üzerindeki gerilim düşümü U_d elektrot geriliminin $100/2800$ 'ü kadardır. Bu elektrot gerilimi yüzde olarak ifade edersek U_d nin % 3,6'sı kadardır. 100KÖhm direncin gerilim değeri sanal osiloskop üzerinde okunduğunda değer önce 5V kademesine çevrilip ardından 28 katı alınacaktır. Örneğin osiloskopta elektrot gerilimi 750 br okundu ise gerçekte elektrot gerilimi,

$$U_d = 28 \cdot 750 \text{ br} \cdot 5V/1023\text{br} = 103 \text{ V tur.}$$



Şekil 5. Gerilim Bölücü Devresi



Şekil 6. Şönt Devresi

Şönt direnç, elektrotlardan temas halinde geçen akım değerini ölçü aralığında ölçebilmek amacı ile kullandığımız dirençlerdir. 1KOhm'luk şönt direncin büyüklüğü deri temas direnci yanında oldukça küçük olduğundan ölçüm o oranda az etkilenecektir. Şöntten geçen akım 1KOhm nispetinde gerilim oluşturacaktır, oluşan gerilim Arduino kartta analog sinyale dönüştürölüp osiloskoptan okunduğunda gerçek akım değeri bulmak için Ohm kanunun matematiksel ifadesinden yararlanırız.

$U_{ş}$, şönt direncin gerilimi olmak üzere I_d elektrot akımı, $I_d = U_{ş}/1000$ (A) dir. Bu durumda örneğin osiloskopta okunan değer 750 birim ise,

$$I_d = 750 \text{ br} \cdot 5 \text{ V} / 1023 \text{ br} / 1000 \text{ Ohm} = 3,7 \text{ mA dir.}$$

STİMÜLATÖRÜN MÜHENDİSLİK BOYUTU

Mühendislik bağlamında öncelikle stimülatör düzeneğinde kullanılan hazır bulunur araç, cihaz ve çözümlerin tanımları yapılacaktır.

Ardino kartlar: Robotik uygulamalar ve eğitim setleri için geliştirilmiş, programlama dili olarak C++ altyapısına sahip hazır elektronik kartlar kullanılmıştır. Programlanabilir gerilim kaynağı olarak ise elimizde hazır bulunduğu için mblock-orion kart kullanılmıştır. Bu kart, temelde arduino kart özelliklerine sahiptir. Akım-Gerilimleri ölçmek için ise ayrıca bir arduino kart kullanılmıştır.

Kömütatörler: Elektronik devrelerde kullanılmak üzere tasarlanmış, 12 pozisyonlu iki tane komütatör kullanılmıştır.

Jampir kabloları: Hazır satılan 10lu renk demetli 40lı yapışık diziler halindeki kablolar; Bu kablolar, her iki ucunda erkek terminaller, her iki uçtaki (FF) dişi terminalleri veya bir erkek ve bir dişi terminal (MF) şeklinde olabiliyor. Bu kıvrımlı terminaller, 0.1” (2.54 mm) erkek yada dişi dişi başlıklara sahip lehimsiz breadboard ve prototipleme

PCB'leri ile kullanılmak üzere tasarlanmıştır . Erkek ve dişi sonlanmaların yakın çekim resimleri Şekil.7 de gösterilmiştir:



Şekil 7. Jampır kablo sonlamaları

Toplu iğneler: Nikel kaplı, 0,5mm çapında 30mm boyunda baş byklğ 1,2mm çapa sahip toplu iğneler kullanılmıştır. Uygulamada iğneler istenen boyda kesilmiştir.

Elektronik devre elemanları: eyrek watt'lık standart seramik dirençler; toleransi %10dan küçük; 1kOhm, 100kOhm ve 2,7MOhm direler kullanılmıştır. Ayrıca 1 adet mini diyot kullanılmıştır.

Trafo: Elde bulunan ıkma 5W 12V/230V küçük bir adaptör transformatörü kullanılmıştır.

Sanal Osiloskop: Bilgisayarın seri portuna gönderilen analog verileri işleyen bilgisayar ekranı arayüzü olan sanal bir osiloskop yazılımıdır. İsraili bir yazılımcının sürümünü ücretsiz olarak yayınladığı kullanışlı bir uygulamadır: <http://www.oscilloscope-lib.com>

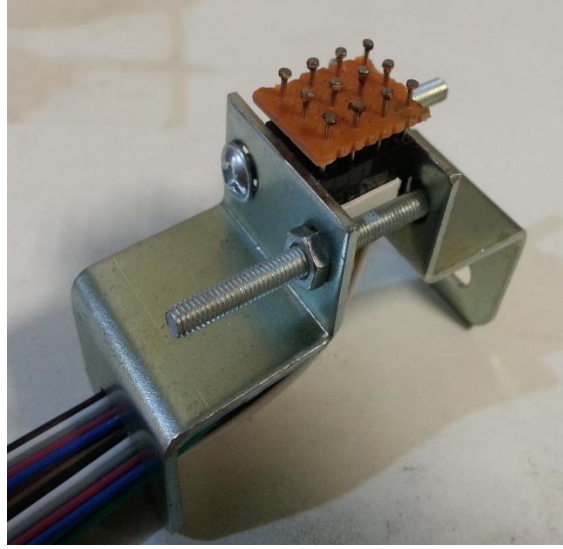
Ultrason jeli: Kuru derinin nemlenerek elektrik direncini azaltmak için bu amaçla geliştirilmiş EEG ve ultrason uygulamalarında kullanılan jel.

Őimdi hazır bulunur ekipmanların özel dızaynları ile stimülatörün gelişiminde mühendislik katkıları açıklanacaktır:

Elektrot seti dızaynı: Elektrot seti eldeki parçalardan yararlanarak yapılmıştır. Dişi jampır kablo uçlarını, 5x7 olacak Şekilde 35 tanesi bitiştirilerek bir blok oluşturulmuştur. İki Z formlu küçük elik aksesuar arasına cıvata ile sıkıştırılarak elektrot seti teşkil edilmiştir. Elektrot pin olarak toplu iğneler kullanılmıştır. Öyle ki toplu iğneleri 35 farklı dişi jampıra sokma seçeneği içinde parmak geometrisi ve toplu iğne başları boyutları dikkate alınarak 0,2" aralıklara 3x4 toplam 12 adet pinli elektrot sistemi dızayn edilmiştir (Şekil-8).

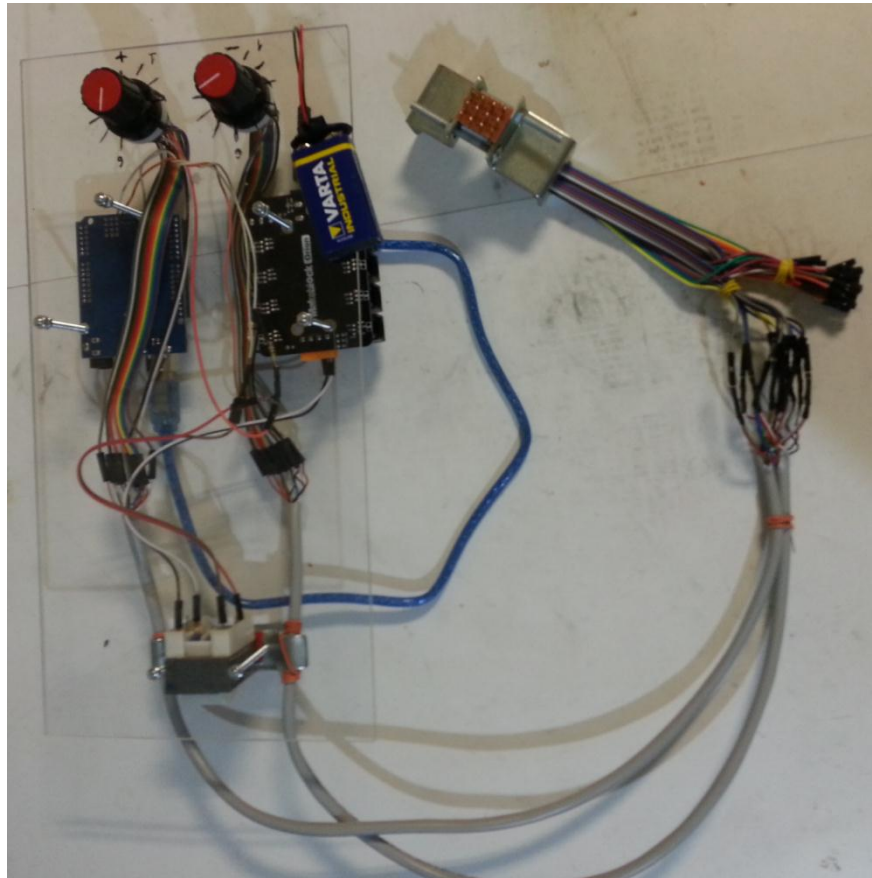
İğneler dişi jampırlara sokulduğunda katı bir Şekilde dik durmayıp dokunulduğunda eğilebilmektedir. Bu da pinlerin geometrisini her dokunuşta değiştirebileceğinden istenmeyen bir durumdur. zm olarak delikli kart kullanılmıştır: Kartın delik aralıkları ile 35 tanesi ile bloklanan jampır setinin dişi uçları arasındaki açıklık standart gereği aynıdır. İğneler öncelikle bir parça delikli karttan geçirilerek jampır setine bağlandığında,

eğilme problemi özölmüştür. Seçilen Z parça aksesuarı ile de deney sırasında elektrod setinin el bileği ergonomisine uygun düşmesi sağlanmıştır.



şekil 8. Elektrot Seti

Lehimsiz konnektör özömleri: Kullanılan tüm devre elemanları konnektörleri ya iğne uçlu ya da dişi soket şeklindedir. Dişi ve erkek jampırlardan yararlanarak tüm ekler geçmeli olarak yapılmıştır.



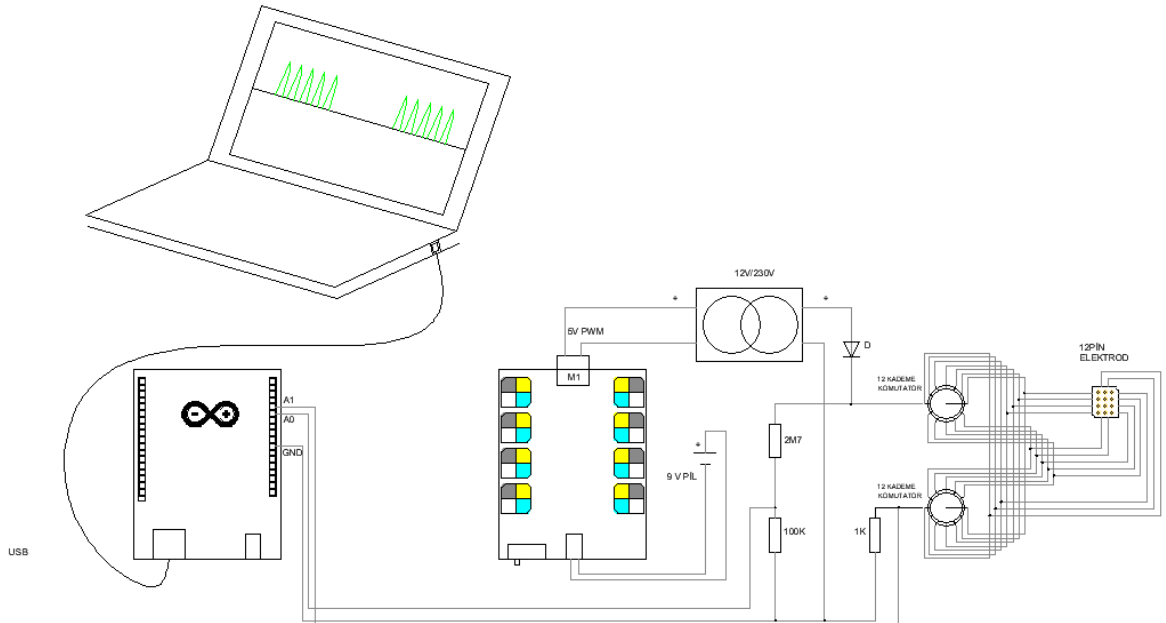
şekil 9. Oluşturulan Deney Setinin Genel Görünüşü

12 Pin elektrodu deneye yaklaştırabilmek için telefon kablosu kullanılmıştır. Telefon kablosunun tel kesiti küçük olduğundan kablo uçlarına dişi uçlu pabuğ bağlanmıştır. İletkenlerin ıplak kısımları ısı büzüşmeli makaronlarla kapatılmıştır. Diyot, direnç gibi devre elemanları da yine makaronlanmış dişi pinler oluşturularak devrelere dahil edilmiştir. Böylelikle hiçbir lehimli ek yapılmadan tüm devre geçmeli eklerle modüler bir yapıda kurulmuştur.

Komütatör çözümü: 12Pin elektrot sisteminin parmak derisinde taradığı yaklaşık 10x15mm² (0,4"x0,6"inch²) alan içinde iğnelerin kutuplanması 12 öğenin 2'li tekrarsız kombinasyonları kadar farklı sağlanabilir. Yani 132 farklı şekilde elektrot setinin kutuplanması mümkündür. Deneyde yaklaşık 150mm²'lik bu deri alanı 132 farklı şekilde kutuplanarak duyarlılıkların incelenmesi sağlanabilmiştir. Bu kutuplama pratik ve kontrol edilebilir olarak 12 kademeli 2 komütatör ile yapılabilir. Bir komütatör transformatörden çıkan (+) kutbu iğnelere dağıtırken diğer komütatör (-) kutbu elektrotlara dağıtacak şekilde bir dızayn sağlanmıştır.

Şeffaf deney seti çözümü : Bu tasarımda deney devresi elektrot seti hariç şeffaf bir pleksigals plaka üzerinde toplanmıştır. Ardino kartlar ve trafo plakaya uzun cıvatalar ile bağlanmıştır. Plakaların yerleşimi ve cıvataların uzun seçilmesi ile deney seti ayakları teşkil edilmiştir. Şeffaf yapı, düzeneğin kavranması ve arızaların takibini kolaylaştırmıştır.

Devre şeması: Devre Şeması Şekil-10 da gösterilmiştir.



Şekil 10. Bu Çalışma için Çizimi Yapılan Devre Şeması

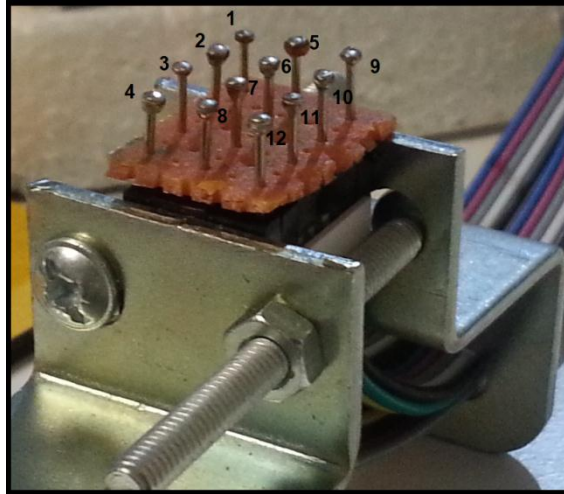
GELİŞTİRİLEN DÜZENEKLE İLK UYGULAMALAR VE İLK VERİLER

İlk testler ve duyarlılıkların tanımı:

Deney düzeneği kurularak ilk testler yapıldı. Gerçekten pin kombinasyonları kutuplandıkca çok farklı duyarlılıklar oluştu. Bazen hiçbir şey hissedilmezken bazen şiddetli duyarlılıklar oluştu. Bu duyu farklılıklarını ölçmede ayırt edicilik için dörtlü bir ölçek tanımlanmıştır:

Hissetmiyorum	: 0
Zayıf Hissediyorum	: 1
Hissediyorum	: 2
Şiddetli Hissediyorum	: 3

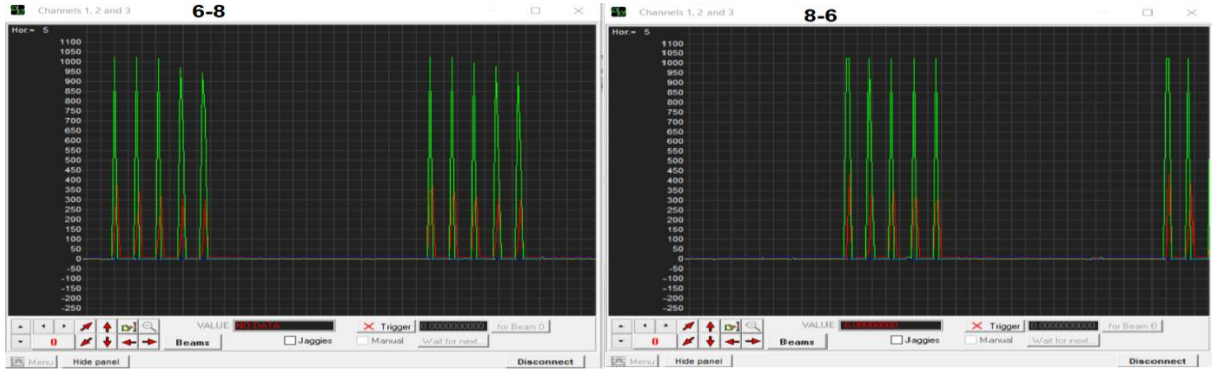
12Pin elektrot sisteminde her bir pin için rakamsal kodlar verildi. Şekil-11 da pinlerin kodları gösterilmiştir. Bir denekten alınan ölçümler aşağıda Şelik.13'deki ölçüm sonuç matrisinde verilmiştir. Burada uygulanan gerilim deseni şu şekilde seçilmiştir: 1 msn darbe uygulanmış 3 msn beklenmiştir, bu işlem toplam 5 kez tekrarlanmış sonra 35 msn beklenmiştir. Sonra bu döngü sürekli tekrarlanmıştır. Açıklanan bu gerilim deseni yazılımla mblock orion karta yüklenmiştir.



Şekil 11. Elektrot Pinlerinin Kodlanması

Ayrıca 8 ve 6 nolu pin çiftinin iki türlü kutuplamasında akım gerilim osiloskop görüntü grafikleri kayıt edilmiştir. Örneğin; 6 nolu pine (+) 8 nolu pine (-) olacak şekilde kutuplandığında ve grafik okunduğunda akımın en az olduğu darbede 950 birim (4,6mA) civarında olduğu, gerilimin 300birim (41V) olduğu görülüyor. Tersine kutuplandığında yani 8 nolu pin (+), 6 nolu pin (-) şeklinde kutuplandığında 1023 birim (5mA) civarında, gerilimin de yine 300 birim olduğu görülüyor.

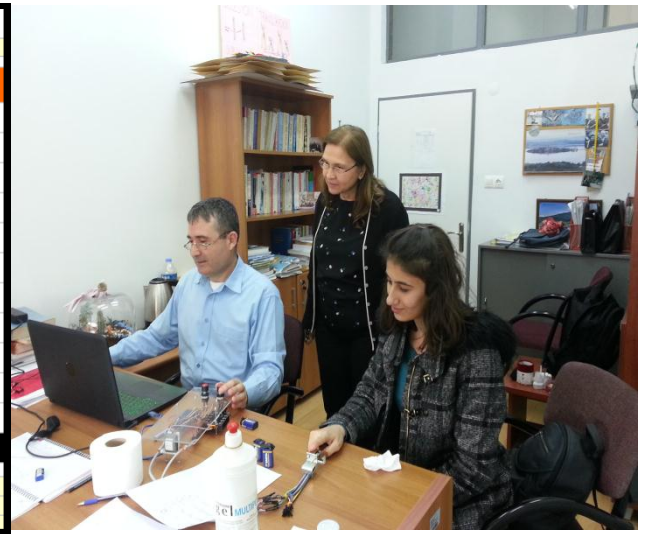
Grafikte kırmızı diyagram gerilimi, yeşil diyagram akımı göstermektedir.



Şekil 12. Akım Gerilim Diyagramları

Cinsiyet:	K	Yaş:	21	Boy:	164	Kilo:	57	Tarih:	###				
Zayıf hissediyorum:	1	Hissediyorum:	2	Şiddetli:	3	his yok:	0						
	+	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	0		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	1	1		0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
4	2	2	0		2	1	0	0	2	1	0	0	0
5	0	0	1	2		0	0	0	0	0	2	2	0
6	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0
7	2	1	0	0	2	1		0	3	1	0	0	0
8	3	2	0	0	3	2	0		3	2	0	0	0
9	0	0	1	3	0	0	0	0		0	1	2	0
10	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0	0
11	1	1	0	0	2	1	0	0	2	2		0	0
12	2	3	2	3	3	3	1	0	3	3	2		0
sağlık durumu :													
parmakta yara:													
ilac alıp almama													

Şekil 13. Bir Deneğe Ait Ölçüm Tablosu



Şekil 14. Uygulamadan Bir Görünüm

SONUÇ ve ÖNERİLER

Esnek otomasyon uygulamalarını yaygınlaştıran ve oldukça ucuz olan arduino kartlar, bilgisayar destekli böylesi biyofizyolojik deneyleri yapabilmemizi sağlayan kilit malzemedir. Arduino imkanı üstüne temel elektroteknik bilgimizle yaşadığımız bu STEM Öyküsü bizde insanın nörotik evrenine dokunabilmenin heyecanını yaşattı ve üstte sayılan inovatif ürünlerin sıkı çalışmalar sonunda geliştirebileceği kanısını uyandırdı. Geliştirilen stimülatör ile hemen birtakım deneylerin yapılabileceği görüldü, konuda duyarlı bir öğretim üyesi ile okulumuzda 20 denek belirleyerek, insanların sağ işaret parmaklarının elektrikle uyarılması yönünden duyarlık haritasını çıkarmaya ve bu yolla nöronların doğasını tanımaya dair çalışmalar yapıldı. Sonuç olarak uçsuz bucaksız neuroscience alanına küçük bir kapı ile geçtiğimizi fark ettik. Bu alanda artık yapılacak sayısız araştırma konusu var.

Bu öyküyü okuyan STEM eğitmenlerden kendi disiplin uzmanlığında yetersiz kaldığı yerleri görebilmeleri ve mentorlardan nerede ve ne kadar yararlanmanın gereğini değerlendirmeleri beklenir. Örneğin bu öyküde geçen bilim, teknoloji, matematik ve tasarım konularına hangi düzeyde hakim olduğunu tartabilir ve buna göre mentor desteğini belirleyebilir (Nelson K.ve arkadaşları, 2017). Gerçekten yaşam bağlamı olan, günlük hayattaki bir problemin çözümünü hedefleyen STEM projelerinin anlamlı olduğu, STEM Eğitiminin amaçlanan kazanımlarını verebileceğini düşünüyoruz. Bu bakımdan mentorlardan yararlanmanın fevkalade önemli olduğunu düşünüyoruz.

Diğer yandan cihazın geliştirme süreci deneyimleri de okumaları da ilgili fizik ve biyoloji kazanımlarını pekiştireceği düşünülebilir. Öğretmen, yapacağı plana göre müfredat kazanımlarını belirleyerek STEM Eğitiminin felsefesine uygun olarak bunları öğrencilere aktarabilir. Örneğin bu STEM çalışmasında hedeflenebilecek fizik ve biyoloji müfredat kazanımları yukarıdaki bölümde belirtilmiştir. Fakat düzeneğin kendisi kullanılarak da öğrencilere, özellikle biyoloji dersleri kazanımlarının etkili şekilde öğrenilmesini destekleyecek deneyler tasarlanabilir. Düzeneğin öğrenciler tarafından bir deney tasarlayarak tecrübe edilmesi, onlarda bilimsel süreç becerilerinin kazandırılması yönü ile de katkı sağlayacaktır. Ayrıca öğretmenler bu düzenekle yapılabilecek açık uçlu, kapalı uçlu lise düzeyinde, ortaokul düzeyinde fizyolojik deneyler tasarlaması eğitim kazanımları yönü ile önerilir.

KAYNAKLAR

- Arar, M. E., Güçlü, B. ve Özkan, M. (2016). *Elektriksel uyaran tasarımı ve somatosensoriyel uyarılmış potansiyeller (SUP)*, 2014 IEEE 18th National Biomedical Engineering Meeting.
- Aykaç, A. (2018). Sinir kodlama ve bilgi iletimi, 10.01.2018 açık kaynak erişilebilir sunu, http://docs.neu.edu.tr/staff/asli.aykac/sinirsel%20kodlama_83.pdf
- Barutçu, B. (2012). Elektrik akımını dokular üzerindeki etk. 10.12.2017 açık kaynak erişilebilir sunu, <http://194.27.141.99/dosya-depo/ders-notlari/browser.php?dir=umit-bora-barutcu>
- Canan, S. (2012). Duyu fizyolojisi ve deri duyuları 10.12.2017 açık kaynak erişilebilir sunu, http://www.ybu.edu.tr/sinancanan/contents/files/322009_Duyu.pdf
- Çepni, S. (2017), *Kuramdan uygulamaya stem+ eğitimi*, PEGEM, Ankara.
- Geddes, L. A. (1994). *The first stimulators*, IEEE Engineering in Medicine and Biology August/September, 522-542
- Guyton, A. C. And Hall, J. E. (2006). Textbook of medical physiology, *Elsever, China*, 45-71 ve 555-597

- Jackson, R.B., Urry, L.A., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., Cain, M.L. and Reece, J.B., (2013).
Campbell biyoloji 9. baskı, (İ. Türkan, E. Gündüz, Çev.), Palme Yayıncılık
- Kaya, A., (2002), Elektroforez yöntemler, *Dicle Tıp Dergisi*, 29, Diyarbakır
- Koz, M., (2017). İstirahat membran potansiyeli ve AP.(10.12.2017), açık kaynak erişimi,
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/8344/mod_resource/content/1/4.1.AksiyonPotansiyeli.pdf
- MEB (2018). *Ortaöğretim fizik dersi (9,10,11 ve 12, sınıflar) öğretim programı*, Ankara,
- MEB (2018). *Ortaöğretim biyoloji dersi (9,10,11 ve 12, sınıflar) öğretim programı*, Ankara,
- Nelson, K. Et. all. (2017). How do undergraduate STEM mentors reflect upon their mentoring experiences in an outreach program engaging K-8 youth? *International Journal of STEM Education (2017) 4:3*.
- Savaş, K. (2015). *Sinir iletim hızı dağılımı tahmini tekniklerinin karşılaştırmalı analizi*, Antalya, Akdeniz Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Tanalp, R. (1975). *Duyu fizyolojisi*, Ankara Üniversitesi Eczacı Fakültesi Yayınları, 32, 29-39.
- Tekin, L.H. (2006). *Bir elektroakupunktur stimülatörü tasarımı ve gerçekleştirilmesi*, Konya, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.