

|                                                                                                                                                  |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Tarih Okulu Dergisi (TOD)                                                                                                                        | Journal of History School (JOHS)      |
| (2026), 19(83), 4066-4105                                                                                                                        |                                       |
| Özgünlük kontrolü                                                                                                                                | Authenticity process                  |
|                                                                 |                                       |
| <a href="http://dx.doi.org/10.29228/joh.87922">http://dx.doi.org/10.29228/joh.87922</a>                                                          |                                       |
| <b>Makale türü:</b> Araştırma makalesi                                                                                                           | <b>Article type:</b> Research article |
| Geliş tarihi 22.10.2025                                                                                                                          | Submitted date                        |
| Kabul tarihi 05.06.2026                                                                                                                          | Accepted date                         |
| Elektronik yayın tarihi 03.10.2026                                                                                                               | Online publishing date                |
| <b>Atıf Bilgisi / Reference Information</b>                                                                                                      |                                       |
| Avcı, A. (2026). Müzik Eğitime İnterdisipliner Bir Yaklaşım: Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli. Journal of History School, 83, 4066-4105. |                                       |

## MÜZİK EĞİTİMİNE İNTERDİSİPLİNER BİR YAKLAŞIM: SOMATİK-DİJİTAL HİBRİT MİKRO-MOLA MODELİ<sup>1</sup>

Ayça AVCI<sup>2</sup>

### Öz

Bu kuramsal-kavramsal çalışma, müzik eğitiminde performansa bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (PRMD) yüksek yaygınlığına bütüncül ve önleyici bir çözüm olarak Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli (SDHMM)'ni önermektedir. Çalışma deneysel katılımcı içermemekte; bunun yerine müzik pedagojisi, ergonomi, somatik eğitim ve dijital sağlık alanlarındaki güncel kanıtların yapılandırılmış literatür taramasıyla sentezlenmesine dayanmaktadır. Veri toplama, önceden tanımlı anahtar kelimelerle (örn. musicians' health, microbreaks, fascia awareness, wearable technology) Web of Science, Scopus, PubMed ve Google Scholar üzerinde yürütülmüştür. Verilerin analizinde tematik içerik analizi kullanılarak dört eksen bütünleştirilmiştir: (1) Müzisyen sağlığı ve PRMD; (2) Nesnel ölçüm ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sağlayan dijital sağlık teknolojileri; (3) Nörofizyolojik ve biyomekanik yenilenme için mikro-molalar; (4) Fasya, interosepsiyon ve sinir-kas dengesi odaklı somatik eğitim. Elde edilen dikkat çekici sonuç, gerçek zamanlı IMU/EMG takibini 1-3 dakikalık somatik mikro-mola protokolleri (fasya mobilizasyonu, nefes koherensi, hedefli tonus azaltma, bilişsel reset) ile birleştiren, veri destekli ve kişiselleştirilebilir beş katmanlı bir modeldir. Modelin kısa vadede yorgunluk ve ağrıyı azaltması, orta vadede PRMD riskini hafifletmesi, dikkat ve öğrenme konsolidasyonunu güçlendirmesi ve uzun vadede sürdürülebilir sanatsal performansı desteklemesi beklenmektedir. SDHMM, konservatuvar ve bireysel

<sup>1</sup> Araştırmada insan katılımcılardan veri toplanmadığı ve deneysel bir uygulama yapılmadığı için etik kurul izni gerekmemektedir.

<sup>2</sup> Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, Müzik Eğitimi Anabilim Dalı, e-mail aycaavci89@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9887-1722.

çalışmalarda teknoloji destekli, önleyici bir pedagojinin uygulanması için pratik ve ölçeklenebilir bir temel sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Müzisyen Sağlığı, Somatik Eğitim, Mikro-Mola, Dijital Biyo-Geribildirim, Önleyici Pedagoji.

## **An Interdisciplinary Approach to Music Education: The Somatic-Digital Hybrid Micro-Break Model**

### **Abstract**

This theoretical-conceptual study proposes the Somatic-Digital Hybrid Micro-Break Model (SDHMM) as a preventive, holistic framework in music education addressing the high prevalence of performance-related musculoskeletal disorders (PRMDs). Rather than enrolling human participants, this research synthesizes evidence across music pedagogy, ergonomics, somatic education, and digital health to build a model grounded in current knowledge. Data collection relied on a structured literature search (Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar) using predefined keywords (e.g., musicians' health, microbreaks, fascia awareness, wearable technology), with priority given to recent systematic reviews and conceptual/empirical studies. Data analysis followed a thematic content approach to integrate four pillars: (1) Musicians' health and PRMD; (2) Digital health technologies for objective monitoring and personalized feedback; (3) micro-breaks for neurophysiological and biomechanical renewal; and (4) Somatic education focusing on fascia, interoception, and neuromuscular balance. The remarkable outcome is a five-layer model that couples real-time IMU/EMG monitoring with 1–3 minute somatic micro-break protocols (fascial release, breath coherence, targeted tone reduction, cognitive reset), producing a data-informed, individualized learning ecosystem. The model is expected to reduce acute fatigue and pain, mitigate PRMD risk over time, enhance attention and learning consolidation, and support sustainable artistic performance. The SDHMM offers a practical, scalable foundation for technology-supported, preventive pedagogy in conservatory settings and studio teaching.

**Keywords:** Musicians' Health, Somatic Education, Micro-Break, Digital Biofeedback, Preventive Pedagogy.

### **GİRİŞ**

Müzisyenler, meslekleri gereği uzun süreli tekrarlayan hareketlere ve statik postürlere maruz kalmaktadır. Bu durum, kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (PRMDs) yüksek prevalansına yol açmakta ve müzikal performansın yanı sıra yaşam kalitesini de olumsuz etkilemektedir (Ackermann ve Adams, 2004; Kok vd., 2016). Son on yılda yayımlanan sistematik derlemeler, müzisyenlerde

çalmayla ilişkili kas-iskelet sistemi sorunlarının (PRMD) prevalansının kullanılan tanım, zaman aralığı ve müzisyen grubuna göre geniş bir dağılım gösterdiğini; 12 aylık prevalansın profesyonel müzisyenlerde %41–93, yaylı çalgı icracılarında ise PRMD prevalansının %64,1–90 arasında değişebildiğini ortaya koymaktadır. Boyun, omuz ve üst ekstremité bölgeleri en sık etkilenen anatomik bölgeler arasında yer almaktadır (Kochem ve Silva, 2018; Kok vd., 2016).

Öte yandan, bilişsel psikoloji ve ergonomi literatüründe kısa süreli mikro-molaların dikkat, öğrenme konsolidasyonu ve kas-iskelet sağlığı üzerinde olumlu etkiler yarattığına dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır (Albulescu vd., 2022; Zacher vd., 2016). Ancak bu bulgulara rağmen, müzik eğitiminde mikro-mola kavramı sistematik olarak uygulanmamaktadır.

Somatik eğitim yaklaşımları (örneğin Feldenkrais, Alexander Tekniği, somatik farkındalık egzersizleri) müzisyenlerde postür, nefes kontrolü ve bedensel farkındalık üzerinde iyileştirici etkilere sahiptir (Klein vd., 2014; Valentine vd., 1995). Buna karşın, bu teknikler genellikle uzun süreli seanslar halinde uygulanmakta ve müzik eğitimi bağlamında kısa süreli, dijital entegrasyonla desteklenmiş mikro-molalara dönüştürülmemektedir.

Dijital sağlık teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler, özellikle giyilebilir sensörler (IMU = Inertial Measurement Unit, EMG = Elektromiyografi bantları) aracılığıyla postür ve kas aktivitesinin gerçek zamanlı takibini mümkün kılmaktadır (Cutti vd., 2010; Yang ve Hsu, 2010). Ancak, müzisyenlere özgü olarak hem bu teknolojileri hem de somatik pedagojiyi entegre eden bir model bulunmamaktadır.

Bu bağlamda, bu araştırmada müzik eğitiminde kullanılmak üzere önerilen SDHMMM'nin hem mevcut literatürdeki boşluğu doldurması hem de müzisyen sağlığına yönelik önleyici ve bütüncül bir yaklaşım olması öngörülmektedir.

### **1.1. Problem Durumu**

Müzisyenlik mesleği, doğası gereği yüksek düzeyde bedensel hassasiyet ve süreklilik gerektiren bir uğraştır. Yoğun çalışma saatleri, tekrarlayan ince motor hareketler ve uzun süreli statik postürler, müzisyenleri mesleki kas-iskelet sorunlarına karşı kırılgan hale getirmektedir (Kok vd., 2016; Rotter vd., 2020). Bu tür rahatsızlıklar yalnızca fiziksel ağrıya yol açmamakta, aynı zamanda müzikal performansın sürekliliğini, öğrenme süreçlerini ve sanatçının mesleki kimliğini de doğrudan tehdit etmektedir (Kok vd., 2016). Bu bağlamda müzik pedagojisi, yalnızca teknik beceri kazandıran değil, aynı zamanda sağlığı koruyan bir yapı olarak yeniden düşünülmesi gereken bir alandır.

Somatik egzersizler bu noktada önemli bir pedagojik araç sunmaktadır. Beden farkındalığını geliştiren, nefes ve postür koordinasyonunu düzenleyen yöntemler müzisyenlerde hem performans kalitesini artırmakta hem de kas-iskelet yüklenmelerini azaltmaktadır (Valentine vd., 1995; Klein vd., 2014). Bununla birlikte, bu tekniklerin çoğu özel eğitim eşliğinde, uzun süreli seanslarla yürütülmekte; ancak eğitim sürecine ve ortamına kısa, pratik ve sistematik biçimde entegre edilememektedir. Özellikle yoğun müfredat altında çalışan genç müzisyenlerin, ders veya prova aralarında uygulayabilecekleri somatik mikro-molalara yönelik yapılandırılmış modellerin olmayışı ciddi bir boşluk ve müzisyenlikleri için risk yaratmaktadır.

Diğer yandan dijital sağlık teknolojilerinin yükselişi, bu boşluğu doldurabilmeyi destekleyecek güçlü bir fırsat sunmaktadır. IMU sensörleri postür ve hareket açılarını, EMG bantları ise kas aktivitesini hassasiyetle ölçerek, bireysel farklılıkları dikkate alan objektif veriler üretebilmektedir (Cutti vd., 2010; Yang ve Hsu, 2010). Bu teknolojiler spor bilimleri ve rehabilitasyon alanlarında performans artırıcı ve koruyucu stratejiler için başarıyla kullanılmaktadır (Papi vd., 2016). Ancak müzik pedagojisi literatüründe, bu tür dijital araçların doğrudan müzisyen sağlığı ve öğrenme süreçleriyle ilişkilendirildiği kapsamlı bir model henüz geliştirilmemiştir.

Dolayısıyla, müzik eğitiminde somatik yaklaşımlar ile dijital giyilebilir teknolojilerin entegrasyonu, yalnızca bireysel sağlığı korumakla kalmayıp, aynı zamanda müfredatın sürdürülebilir ve yenilikçi bir pedagojik yaklaşımla güçlendirilmesi için de gereklilik arz etmektedir. Bu durum, somatik-dijital hibrit bir modelin geliştirilmesi ihtiyacını hem teorik hem de pratik açıdan kaçınılmaz kılmaktadır.

## 1.2. Araştırmanın Ana Problem Cümlesi

Müzik eğitiminde SDHMM, müzisyen sağlığına yönelik etkili, önleyici ve bütüncül bir yaklaşım olarak uygulanabilir mi?

### Alt problemler

1. Müzisyenlerde PRMD'nin kısa ve uzun vadede performansa ve müzik yaşamına etkileri nelerdir?
2. Mikro-molaların müzisyenlerin öğrenmesine, dikkatine ve kas-iskelet sağlığına holistik etkileri nelerdir?
3. Somatik eğitim yaklaşımlarının (ör. Feldenkrais, Alexander Tekniği, fasya egzersizleri) müzisyen sağlığı üzerindeki etkileri nelerdir?

4. Dijital sağlık teknolojileri (IMU, EMG sensörleri vb.) postür ve kas aktivitesini ölçmede güvenilir sonuçlar vermekte midir?
5. Bu dört boyut (PRMD sonuçları, mikro-molalar, somatik pedagojiler, dijital sağlık teknolojileri) birlikte ele alındığında, müzik eğitiminde holistik hibrit bir model oluşturulabilir mi?

Bu alt problemlere verilen cevaplar, sonuç bölümünde ana problemin yanıtlanmasını sağlamış ve önerilen hibrit modelin neden uygulanabilir ve gerekli olduğunu ortaya koymuştur.

### 1.3. Araştırmanın amacı

Bu araştırmanın amacı, müzik eğitiminde müzisyen sağlığını desteklemek üzere somatik pedagojiyi dijital sağlık teknolojileriyle bütünleştiren özgün bir model önermektir. Özellikle müzisyenlerde yüksek prevalansa sahip olan performansa bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının (PRMDs), uzun süreli pratik, tekrarlayan hareketler ve ergonomik olmayan postürlerle ilişkili olduğu bilinmektedir (Kok vd., 2016). Mikro-molaların dikkat, öğrenme konsolidasyonu ve bedensel rahatlatma üzerindeki olumlu etkileri, farklı disiplinlerde yapılan araştırmalarla gösterilmiş olmasına rağmen (Albulescu vd., 2022; Zacher vd., 2016), müzik eğitimi bağlamında bu bulguların sistematik bir modele dönüştürülmediği görülmektedir. Bu çalışma, mikro-molaları somatik pedagojik içeriklerle bütünleştirerek kısa süreli ve uygulanabilir protokoller önermeyi, giyilebilir sensörler (IMU, EMG vb.) aracılığıyla kişiselleştirilmiş geri bildirimler sunmayı ve bu şekilde müzisyenlerde hem sağlık koruyucu hem de öğrenmeyi kolaylaştırıcı bir pedagojik model geliştirmeyi amaçlamaktadır.

### 1.4. Araştırmanın Önemi

Bu araştırma, literatürdeki önemli bir boşluğu doldurma potansiyeli nedeniyle önem taşımaktadır. Öncelikle, müzisyenlerde PRMD oranlarının yüksekliği, müzik pedagojisine bütüncül ve önleyici bir sağlık yaklaşımının dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Ackermann ve Adams, 2004). İkinci olarak, somatik eğitim yöntemleri müzisyenlerde postür düzenleme, nefes kontrolü ve performans kaygısının azaltılması gibi önemli kazanımlar sağlamaktadır (Klein vd., 2014; Valentine vd., 1995), ancak bu yöntemler genellikle uzun süreli seanslar halinde uygulanmakta ve eğitim sürecine mikro düzeyde entegre edilmemektedir. Üçüncü olarak, giyilebilir sağlık teknolojileri postür ve kas aktivitesini objektif olarak ölçme kapasitesine sahiptir (Cutti vd., 2010; Yang ve Hsu, 2010), fakat müzisyenlere özgü bağlamlarda yeterince kullanılmamaktadır. Dolayısıyla, bu araştırma yalnızca müzisyen sağlığına yönelik önleyici bir pedagojik model sunmakla kalmamakta, aynı zamanda müzik eğitiminde

giyilebilir teknoloji destekli somatik farkındalığın entegrasyonuna yönelik yenilikçi bir perspektif önermektedir.

### **1.5. Literatür İncelemesi**

#### **1- PRMD ve Mikro-Molalar**

Müzisyenlerde performansa bağlı kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları neredeyse her müzisyende görülmekle beraber özellikle genç müzisyenlerde giderek artan bir sağlık sorunu haline gelmiştir (Kok vd., 2016). Bilhassa uzun süreli pratik, sürekli yapılan tekrarlar ve ergonomik olmayan postürler, boyun ve omuz bölgelerinde ciddi sorunlara yol açmaktadır. Bu bağlamda, mikro-molalar iş sağlığı alanında incelenmiş ve kısa süreli araların iş performansını, dikkat ve iyilik halini olumlu yönde etkilediği bulunmuştur (Albulescu vd., 2022; Zacher vd., 2016). Ancak, bu kavramın müzik eğitimine uyarlanması konusunda literatürde belirgin bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma ile boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

#### **2- Somatik Eğitim Yaklaşımları**

Somatik yaklaşımlar, beden farkındalığını artırarak kas-iskelet sistemine yönelik yüklenmeyi azaltan pedagojik yöntemlerdir. Alexander Tekniği ve Feldenkrais yöntemi üzerine yapılan sistematik derlemeler, bu tür gibi tekniklerin müzisyenlerde postür iyileştirmeye, kas gerginliğini azaltmaya ve performans kaygısını düşürmeye yardımcı olduğunu göstermektedir (Klein vd., 2014). Valentine ve arkadaşlarının (1995) araştırması, Alexander Tekniği dersleri alan müzisyenlerin yüksek stres koşullarında daha dengeli performans sergilediklerini ortaya koymuştur. Ayrıca son yıllarda müzisyenlerde fasya farkındalığına dayalı egzersizlerin de beden farkındalığı, nefes kapasitesi ve motor koordinasyon üzerinde etkili olabileceği vurgulanmaktadır (Schleip, 2003). Ancak bu yaklaşımların kısa, yapılandırılmış ve dijital destekli mikro-mola formatlarına dönüştürülmesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

#### **3- Dijital Sağlık Teknolojileri ve Müzik Pedagojisi**

Son yıllarda giyilebilir teknolojiler, eğitim ve sağlık alanında hızlı bir gelişim göstermektedir. IMU sensörleri, bireylerin hareket örüntülerini ve postür açılarını hassasiyetle kaydedebilmekte, EMG bantları ise kas aktivitesini ölçerek yüklenme düzeyleri hakkında bilgi sunabilmektedir (Cutti vd., 2010; Yang ve Hsu, 2010). Bu teknolojilerin spor ve rehabilitasyon alanlarında başarılı biçimde kullanıldığı görülmektedir (Papi vd., 2015). Ancak müzik pedagojisi bağlamında, bu teknolojileri somatik egzersizlerle bütünleştiren hibrit bir model

geliştirilmemiştir. Nöroplastisite literatürü ise müzikal pratiklerin beyinde yapısal ve işlevsel değişimler yarattığını ve dikkat ile öğrenme süreçlerini olumlu etkilediğini göstermektedir (Herholz ve Zatorre, 2012). Ancak performansı sergileyen müzisyen, genelde çalışma sürecinde yaşadığı bedensel rahatsızlıklar nedeniyle dikkatini yeterince performansına veremeyebilmektedir. Bu araştırmada önerilen hibrit model ile bedendeki olası gerginliklerin, ağrıların ve acıların azaltılması ve etkili çalışmaya imkân sunulması sayesinde dikkatin de artırılması öngörülmekte ve hedeflenmektedir. Böylece müzisyenlerin nöroplastisitesinin artırılması da beklenmektedir; ancak bu çıkarımın bilimsel sonuçlar ile kanıtlanabilmesi için kullanılacak dijital sağlık teknolojilerine dair başka bir çalışmanın yapılması uygun olacaktır. Bu araştırmada ilk aşamada müzisyenlerin hareketlerinin, kaslarının ve postür açılarının incelenmesi üzerine kullanılan dijital sağlık teknolojilerine ilişkin bir model önerilmektedir. Bu bulguların, dijital sağlık teknolojilerinin somatik pedagojik yaklaşımlarla bütünleştirilmesinin hem müzisyen sağlığı hem de öğrenme verimliliği için güçlü bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koyması beklenmektedir.

## **YÖNTEM**

### **2.1. Araştırmanın Yöntemi**

Bu araştırma, müzik eğitiminde disiplinler arası bütüncül bir model geliştirmeyi amaçlayan kuramsal-kavramsal bir çalışmadır. Çalışma, Jaakkola (2020) ve Lynham (2002) tarafından açıklanan kuram geliştirme yaklaşımlarına dayanmaktadır. Model; müzik eğitimi, müzisyen sağlığı, ergonomi, somatik eğitim ve dijital sağlık teknolojileri alanlarındaki kuramsal ve ampirik bulguların kavramsal olarak bütünleştirilmesi yoluyla oluşturulmuştur. Araştırmanın amacı önerilen modelin ampirik olarak test edilmesi değil, kuramsal temellerinin oluşturulmasıdır.

### **2.2. Veri Kaynakları ve Literatür Tarama Süreci**

Araştırmada sistematik derleme amacı taşımayan, kaynakların önceden belirlenen konu alanları ve seçim ölçütleri doğrultusunda incelendiği yapılandırılmış bir literatür taraması yürütülmüştür. Tarama Web of Science, Scopus, PubMed ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Belirlenen dahil etme ve dışlama ölçütleri doğrultusunda yapılan değerlendirme sonucunda, 2000–2026 yılları arasında yayımlanan 39 çalışma kuramsal ve yöntemsel açıdan sentez kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. Ayrıca modelin kuramsal ve yöntemsel temelleri açısından önem taşıyan 2000 yılı öncesinde

yayınlanmış üç temel çalışma tarih sınırlamasının dışında değerlendirmeye dahil edilmiştir.

Aramalarda “musicians’ health”, “performance-related musculoskeletal disorders (PRMDs)”, “microbreaks”, “somatic education”, “Alexander Technique”, “Feldenkrais”, “fascia awareness”, “wearable technology”, “IMU sensors” ve “surface EMG” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Çalışmaların seçiminde; (a) müzisyen sağlığı ve PRMD, mikro-molalar, somatik eğitim veya giyilebilir/dijital sağlık teknolojileriyle doğrudan ilişkili olması, (b) önerilen modelin fizyolojik, pedagojik veya teknolojik bileşenlerinden en az birine kuramsal ya da ampirik dayanak sağlaması ve (c) bilimsel yayın niteliği taşıması ölçütleri esas alınmıştır. Sistematik derlemeler, meta-analizler, kontrollü ve gözlemsel araştırmalar ile modelin kuramsal temellerini destekleyen kavramsal çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Konuyla doğrudan ilişkili olmayan, yinelenen veya modelin kavramsal bileşenlerine veri sağlamayan yayınlar kapsam dışında bırakılmıştır. Seçim sürecinde önce başlık ve özetlerin araştırmanın amaç ve temalarıyla ilişkisi değerlendirilmiş, ardından uygun bulunan çalışmalar tam metin üzerinden incelenmiştir. Bu süreç sonucunda modelin kavramsal sentezinde kullanılan çalışmalar kaynakçaya dahil edilmiştir.

### 2.3. Model Geliştirme Süreci

Model geliştirme süreci üç aşamada yürütülmüştür. Birinci aşamada, müzisyenlerde PRMD’nin prevalansı, risk etmenleri ve sonuçlarına ilişkin çalışmalar incelenerek sorun alanı tanımlanmıştır (Kok vd., 2016). İkinci aşamada, mikro-molaların dikkat, iyilik hâli, öğrenme ve ergonomi üzerindeki etkilerini ele alan çalışmalar değerlendirilmiştir (Albulescu vd., 2022; Zacher vd., 2016). Üçüncü aşamada ise somatik eğitim yaklaşımlarının müzisyen sağlığına katkıları ile IMU ve EMG gibi dijital sağlık teknolojilerinin ölçüm ve geri bildirim amaçlı kullanımına ilişkin bulgular incelenmiştir (Cutti vd., 2010; Klein vd., 2014; Yang ve Hsu, 2010). Bu üç araştırma alanından elde edilen bulgular karşılaştırılarak SDHMMM kavramsal olarak yapılandırılmıştır.

### 2.4. Verilerin Analizi

Seçilen çalışmaların bulguları tematik içerik analizi yaklaşımı doğrultusunda incelenmiştir (Nowell vd., 2017). Analiz sürecinde modelle ilişkili ortak kavram ve bulgular belirlenerek dört tema altında sınıflandırılmıştır: (1) Müzisyen Sağlığı ve PRMD, (2) Dijital Sağlık Teknolojileri: Nesnel Ölçüm ve Kişiselleştirilmiş Geri Bildirim, (3) Mikro-Mola: Nörofizyolojik ve Biyomekanik Yenilenme ve (4) Somatik Eğitim: Fasya, İnterosepsiyon ve Sinir-Kas Dengesi.

Temalar arasındaki kavramsal ilişkiler karşılaştırılarak “Somatik-Dijital Hibrit Yaklaşım: Önleyici ve Bütüncül Paradigma” çerçevesinde bütünleştirilmiş ve bu sentez sonucunda modelin kavramsal yapısı oluşturulmuştur.

## **BULGULAR VE YORUM**

### **Müzişyen Sağlığı ve PRMD**

Müzişyenlerin uzun süreli tekrarlayıcı hareketler, statik postürler ve minimal dinlenme süreleriyle çalışmaları, biyomekanik stresin dokularda birikmesine ve zamanla fizyolojik patolojilere dönüşmesine zemin hazırlamaktadır. Bu süreç, öncelikle kas-tendon sistemlerinde mikrotravmalar, tendon inflamasyonu (tendinit/tendinopati), tendon miyofasyal adaptasyon bozuklukları, sinir sıkışmaları (örneğin karpal tünel, ulnar sinir basısı) ve fokal distoni gibi spesifik durumlara kadar ilerleyebilir (Rotter vd., 2020). Örneğin, yaylı çalgı çalanlarda omuz kuşağı ve kol tendonlarının aşırı yüklenmesi “overuse” sendromlarına ve kas-tendon adaptasyonunda mikro yırtıklara neden olabilir. Bu fizyolojik süreçler başlangıçta iyileşebilir düzeyde iken, kronikleştiğinde yapısal değişimlere (örneğin fibrozis, tendon kalınlaşması) yol açabilir.

Tendon ve fasya dokularının davranışı, yükleme türü, sıklığı ve iyileşme süresine duyarlıdır. Fasya sistemleri (bağ dokusu ağı) kaslar, tendonlar ve sinirler etrafında destekleyici bir ağ oluşturur ve gerilme ile mekanik geribildirim sağlar. Müzişyenlik bağlamında, sürekli istemsiz mikro-gerilmeler bu fasya dokularında “havalandırma / kayma bozukluklarına” neden olabilir; bu da mekanik direnci artırır, ağrı algısını duyarsızlaştırabilir ve kronik semptomların oluşumunu destekleyebilir (Schleip, 2003). Ayrıca postural stabilizasyon sistemlerinde zayıf kontrol, örneğin omurga derin kaslarının (multifidus, transversus abdominis) zayıflığı, görsel-vestibüler düzene bağımlılığı, denge sistemlerindeki yetersizlikler PRMD ile ilişkili bulunmuştur (Steinmetz vd., 2010). Bu durumda müzişyenler sadece kas-iskelet yüklenmesinden değil, stabilizasyon sistemlerindeki bozulmalardan da zarar görebilmektedir.

Sinir sistemi açısından, uzun süreli mekanik stres sinir baskılarına ve mikro travmalara yol açabilmektedir. Örneğin uzun süreli bilek / el pozisyonu, median sinir üzerinde karpal tünel sendromu riskini arttırabilmektedir. Ayrıca kas yorgunluğu, metabolik yorgunluk ve oksidatif stres, motor sinirlerde değişimlere neden olabilir; kas çekilmesi/elastikiyeti azalabilir. Bu fizyolojik süreçler, kronik ağrı, parestezi, motor kontrol bozuklukları ve sinir-kas uyumsuzluklarına kadar gidebilmektedir. Örneğin müzişyenlerde focal distoni (istikrarsız kas kasılmalarıyla istemsiz hareketler) de bu sinir-kas adaptasyonunun patolojik uç

noktası olarak değerlendirilmektedir. Health-based müzisyen literatüründe bu fizyopatolojiler, yalnızca ağrı değil, performans sürekliliğini bozan kritik risk faktörleri olarak görülmektedir (Rotter vd., 2020).

Bu fizyolojik süreçler, PRMD'nin yalnızca “ağrı / rahatsızlık” boyutunu değil, yapısal doku değişimlerini, sinir-kas adaptasyon bozukluklarını, stabilizasyon sistemindeki çözümleri ve dolaylı olarak performans / öğrenme mekanizmalarını etkileyebilmesine imkân vermektedir. Müzisyen sağlığı perspektifinde bu karmaşıklığı kavramadan, model önerileri yüzeysel kalma riski taşımaktadır.

Müzisyenlik yalnızca fiziksel becerilerden değil, aynı zamanda güçlü bir mesleki kimlik ve özdeşlikten oluşmaktadır. PRMD yaşandığında yalnızca ağrı değil, aynı zamanda “ıcracı kimliği”nde sarsıntı meydana gelmekte ve bu durum depresyon ve tükenmişlik riskini artırmaktadır (Rickert vd., 2014). Psikososyal faktörler, özellikle performans kaygısı, mükemmeliyetçilik ve yoğun rekabet algısı, bedensel semptomları şiddetlendiren önemli değişkenler olarak tanımlanmaktadır (Spahn vd., 2004). Bu nedenle önerilecek her model yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikososyal iyilik halini de hedef almalıdır. Bu çalışmada önerilen model de bu nedenle hibrit bir yaklaşım ile bütünsel bir model önerisi olarak tasarlanmıştır.

### **Dijital Sağlık Teknolojileri: Nesnel Ölçüm ve Kişiselleştirilmiş Geri Bildirim**

PRMD sonucundaki rahatsızlıkların tespit edilmesi, izlenmesi ve iyileşmesi için gerekenin yapılabilmesi için öncelikle takip edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle müzisyenlerde bu takibin yapılabilmesi için giyilebilir teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Giyilebilir sensör teknolojileri, müzisyenlerin beden kullanımlarını nesnel veriler aracılığıyla görünür kılmakta ve öznel farkındalığın ötesinde objektif değerlendirme sağlamaktadır. Bu bağlamda iki temel teknoloji öne çıkmaktadır: IMU sensörleri ve EMG bantları.

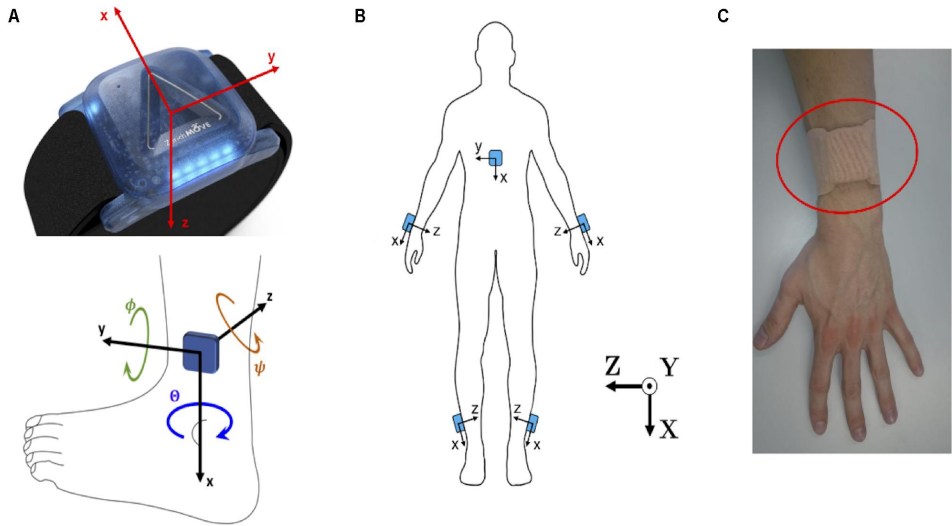
#### **3.2.1. IMU Sensörleri**

Inertial Measurement Unit (IMU) sensörleri; ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre bileşenlerinden oluşmakta ve vücut segmentlerinin konum, hız ve ivme bilgilerini hassas şekilde kaydetmektedir (Cutti vd., 2010). Müzik eğitiminde SDH-MMM'de (Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli) IMU'ların kullanım amacı;

**Postür takibi:** Omuz, boyun, bilek ve bel hizalanmasını anlık olarak kaydederek öğrencinin farkında olmadan içine düştüğü asimetrik duruşları görünür kılmaktadır.

**Tekrarlayıcı hareket izleme:** Örneğin piyanoda bilek fleksiyonu veya kemanda kolun açısal hareketleri sürekli ölçülerek, aşırı tekrarın riskli düzeye ulaşmış olup olmadığını belirlemektedir.

**Mikro-mola tetikleme:** Belirlenen eşik değerleri aşıldığında sistem uygulama üzerinden kısa bir mola önermekte ve somatik egzersiz yönergeleri sunmaktadır. Dolayısıyla IMU sensörleri modelde “ne zaman mola verilmesi gerektiğini belirleyen uyarıcı sistem” işlevi görmektedir.



**Şekil 1.** ZurichMOVE sensör eksen yönelimleri için ivmeölçer ve jiroskop ve kullanım amaçları (Renggli vd., 2020)

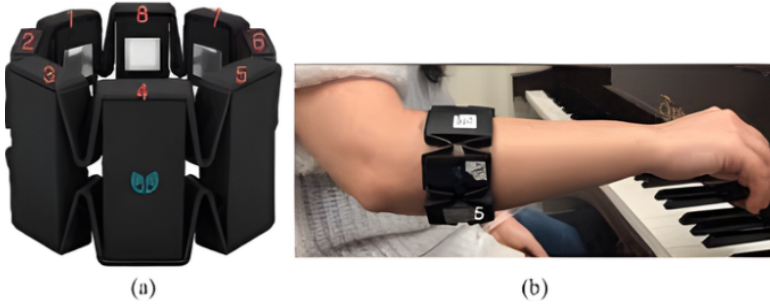
(A) ZurichMOVE sensör eksen yönelimleri için ivmeölçer ve jiroskop ile üç Euler açısı ( $\Theta$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ ) ve pozitif dönüş yönleri. (B) Sensörlerin her iki bilek, her

iki ayak bileği ve göğüs üzerine yerleştirilmesi ve eksen yönelimleri. (C) Sensörlerin kinezyo bantla vücuda tutturulmuş uygulama örneği. (Renggli vd., 2020)

Yukarıdaki görsel kapsamında, IMU'lar tıpkı yukarıdaki görseldeki gibi müzisyenlerin el-bilek ve üst ekstremita ile çalgısına göre alt beden hareketlerini izlemek üzere yerleştirilecek ve biyomekanik yüklenmelerin nesnel olarak takibi sağlanabilecektir.

### 3.2.2. EMG Bantları

Yüzeyel Elektromiyografi (EMG) bantları, kasların elektriksel aktivitesini ölçmekte ve kas tonusunun aşırı kullanıma bağlı yükseldiği durumları ortaya koymaktadır (Yang ve Hsu, 2010). Müzik eğitiminde EMG bantlarının işlevleri şunlardır:



**Şekil 2.** Myo armband (kas bilekliği) (Rhodes vd., 2019)

**Kas yüklenmesini ölçme:** Örneğin piyanistlerde önkol fleksör kaslarının, yaylı çalgıcılarda omuz ve trapezius kaslarının aşırı kasıldığı durumlarda kas aktivitesi seviyeleri kaydedilmektedir.

**Asimetrik kullanımın tespiti:** Sol ve sağ taraf kas aktivitesindeki dengesizlikler ortaya çıkarılarak bedensel simetri konusunda farkındalık yaratılmaktadır.

**Geri bildirim sağlama:** EMG verileri, öğrenciye mobil uygulama veya görsel ekran aracılığıyla sunularak hangi kas gruplarını fazla kullandığını anlamasına yardımcı olmaktadır.

Bu bağlamda EMG bantları, modelde “hangi kasların gereksiz yere aşırı aktive olduğunu gösteren biyofeedback sistemi” olarak işlev görmektedir. Görselin (a) kısmında, Myo Armband’in yapısı görülmektedir. Bu cihaz, kol kaslarındaki elektriksel aktiviteleri ölçmek için kullanılan sekiz adet sensör (elektrot) modülünden oluşur. Bu sensörler, kas kasılmasıyla oluşan elektriksel potansiyel farklarını (EMG sinyallerini) algılar. Cihaz aynı zamanda hareket algılayıcı (IMU – Inertial Measurement Unit) sensörler içerir; bu sensörler ivme, dönüş ve oryantasyonu ölçerek kullanıcının hareketlerini tespit eder.

Görselin (b) kısmında, Myo Armband’in bir kullanıcının ön koluna yerleştirilmiş hali görülmektedir. Bu durumda cihaz, piyano çalarken bilek ve ön kol kaslarının aktivasyonunu kaydetmek amacıyla kullanılmıştır. Kas aktivitesi ile tuş vuruşu arasındaki ilişki, müzikal performans sırasında kas yorgunluğu, koordinasyon ve motor kontrolün analizi gibi konuların araştırılmasında değerlidir.

Bu tür EMG tabanlı cihazlar, müzik pedagojisi, fizyoterapi, ergonomi ve insan-bilgisayar etkileşimi araştırmalarında sıklıkla kullanılır. Özellikle müzisyen sağlığı araştırmalarında, çalgı icrası sırasında oluşan kas aktivasyon paternlerini belirlemek için tercih edilir.

### **3.2.3. Modeldeki Yeri**

IMU ve EMG verileri birlikte kullanıldığında hem postürel hizalanma hem de kas aktivitesi bütüncül biçimde takip edilmekte, böylece mikro-mola için “zamanlama” (IMU) + “içerik” (EMG ile hangi kas grubuna odaklanılacağı) birlikte belirlenmektedir. Örneğin, keman öğrencisinin sağ omuz açısı IMU tarafından riskli düzeye ulaştığında uygulama bir mola önermekte; EMG aynı anda trapezius kasında aşırı aktivite saptarsa önerilen mola egzersizleri özellikle omuz gevşetme ve nefes açma hareketlerinden seçilmektedir. Böylelikle model, yalnızca “mola ver” dememekte, aynı zamanda kişiye özgü somatik içerikli mola önerileri sunmaktadır.

Bu entegrasyon, müzik pedagojisinde geleneksel eğitmen gözleminin ötesine geçerek veri destekli, kişiselleştirilmiş ve önleyici bir öğrenme ekosistemi oluşturmayı sağlamaktadır. Bu ekosistem sayesinde de müzisyenin hangi aşamada mikro-molalara ihtiyaç duyduğu fark edilmiş ve ayrıca nörofizyolojik ve biyomekanik açıdan yenilenmesi için de gerekli egzersizleri yapabilmesi sağlanmış olacaktır.

### **3.3. Mikro-Mola: Nörofizyolojik ve Biyomekanik Yenilenme**

Mikro-mola kavramı yalnızca kısa dinlenme araları değil, aynı zamanda nörofizyolojik sistemin kendini yeniden düzenlediği kritik bir süreç olarak

tanımlanmaktadır. Araştırmalar, kısa süreli araların kas yorgunluğunu azalttığını, kas içi metabolit birikimini sınırladığını ve oksijenlenmeyi artırdığını göstermektedir (Bennett vd., 2018). Kas liflerindeki enerji depolarının kısa molalarla yeniden dengelenmesi, özellikle ince motor becerilerin devamlılığında kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, mikro-mola stratejileri biyomekanik yüklenmenin dokularda yarattığı mikrotravmaları sınırlamaktadır.

Nörobilişsel açıdan mikro-molalar, çalışma belleğinin kapasitesini yeniden düzenlemekte ve dikkat yenilenmesini desteklemektedir. Beyinde “default mode network” adı verilen ağın kısa aralar sırasında aktif hale gelmesi, öğrenilen bilgilerin konsolidasyonuna ve motor hafızanın güçlenmesine katkı sağlamaktadır (Christoff vd., 2016). Bu durum, müzik pratiğinde uzun süreli kesintisiz tekrarların yerine aralıklı öğrenmenin neden daha etkili olduğunu açıklamaktadır (Cepeda vd., 2006). Dolayısıyla mikro-molalar hem fizyolojik iyileşme hem de bilişsel yenilenme süreçlerinin bütünleştiği kritik aralıklar olarak işlev görmektedir. Bu molalarda uygulanacak somatik egzersizler de diğer kritik ve önemli basamağı oluşturmaktadır.

#### **3.4. Somatik Eğitim: Fasya, İnterosepsiyon ve Sinir-Kas Dengesi**

Somatik yaklaşımlar, beden farkındalığı ve hareket kalıplarını yeniden düzenleme üzerine odaklanmaktadır. Bu yöntemlerin fizyolojik temellerinden biri, fasya sisteminin plastisite özelliğidir. Fasya, kasları, sinirleri ve organları çevreleyen bağ dokusu ağıdır ve mekanik yüklenmelere duyarlı proprioseptif sensörler içermektedir (Schleip, 2003). Somatik egzersizler, fasya elastikiyetini artırarak dokular arası kaymayı kolaylaştırmakta ve ağrının azalmasına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca somatik uygulamalar, interoseptif farkındalığı geliştirmektedir. İnterosepsiyon, bireyin içsel beden duyumlarını algılayabilme kapasitesidir ve bu kapasite arttığında stres regülasyonu ve motor kontrol daha dengeli hale gelmektedir (Mehling vd., 2012). Fasyada ayrıca interoseptif sensörler de yer almaktadır. Bu bağlamda müzisyenler, kısa süreli somatik mikro-molalar aracılığıyla kas gerilimini fark edebilmekte, nefes düzenini yeniden kurabilmekte ve motor koordinasyonu optimize edebilmektedir.

Sinir-kas sisteminde, düzenli somatik egzersizler sayesinde refleksif kas kasılmaları azalmakta ve istemsiz kas tonusu regüle edilmektedir. Bu da özellikle performans kaygısına bağlı kas gerginliklerinin azalmasını sağlamaktadır (Valentine vd., 1995). Sonuç olarak, somatik eğitim müzisyenlerin bedensel ve zihinsel kaynaklarını daha verimli kullanmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede

müzik eğitiminde önleyici ve bütüleştirici bir yaklaşımın da temelini oluşturmaktadır.

### 3.5. Müzik Eğitimine Somatik-Dijital Hibrit Yaklaşım: Önleyici ve Bütüncül Paradigma

Somatik pedagojinin öz-farkındalık geliştiren içeriği ile dijital teknolojilerin nesnel ölçüm ve geri bildirim kapasitesi birleştiğinde, müzik eğitiminde önleyici ve bütüncül bir sağlık modeli oluşmaktadır. Bu model, fizyolojik riskleri henüz semptomlar ortaya çıkmadan belirleyebilmekte ve kısa somatik mikro-molalarla anında müdahale imkânı sunmaktadır. Böylece yalnızca tedavi edici değil, önleyici bir paradigma ortaya çıkmaktadır.

Önleyici sağlık modelleri, Dünya Sağlık Örgütü'nün de vurguladığı üzere kronik rahatsızlıkların yükünü azaltmakta ve yaşam boyu sağlık kazanımlarını desteklemektedir (WHO, 2020). Müzisyenlik gibi yüksek performans gerektiren bir alanda bu yaklaşım, mesleki sürdürülebilirliği artıran yenilikçi bir strateji sunmaktadır. Dolayısıyla hibrit model, müzik pedagojisinde hem sağlık hem de öğrenme çıktıları bakımından güçlü bir dönüşüm potansiyeli taşımaktadır.

### 3.6. Kavramsal Çerçeve

Bu çalışmada geliştirilen modelin kavramsal çerçevesini sunmak, elde edilen tematik bulguların nasıl bütüncül bir yapıya dönüştüğünü göstermeyi amaçlamaktadır. Kavramsal çerçeve, modelin kuramsal temellerini şeffaf biçimde ortaya koyarak hem sağlık hem de pedagojik boyutların nasıl entegre edildiğini açıklamaktadır. Ayrıca, modelin bileşenleri arasındaki ilişkileri görselleştirerek okuyucular için anlaşılabilir bir yol haritası sunmaktadır. Böylelikle modelin özgün katkısı, uygulanabilirliği ve alan yazındaki konumlanışı daha güçlü biçimde desteklenmektedir.

**Tablo 1**

Somatik-dijital hibrit mikro-mola modeli kavramsal çerçevesi

| Katman | İçerik | Açıklama |
|--------|--------|----------|
|--------|--------|----------|

|                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Girdi Katmanı</b><br>(Müziyen Sağlığı ve PRMD)                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Görev talepleri (repertuar, prova süresi)</li> <li>- Bireysel faktörler (alışkanlık, kondisyon, kaygı)</li> </ul>                                                                          | Müziyenin çalışma yoğunluğu ve kişisel özellikleri PRMD riskini belirleyen başlangıç koşullarıdır.      |
| <b>Süreç Katmanı</b> (Çift Kanallı İzleme)<br><b>(Dijital Sağlık Teknolojileri: Nesnel Ölçüm ve Kişiselleştirilmiş Geri Bildirim)</b>          | <b>Nesnel kanal:</b> IMU/EMG ölçümleri → risk eşiği → uyarı<br><b>Öznel kanal:</b> İnterosepsiyon, öz-değerlendirme                                                                                                                 | Fiziksel yüklenme ve beden farkındalığı eş zamanlı izlenir; ikisi birlikte risk değerlendirmesi sağlar. |
| <b>Müdahale Katmanı</b><br>(Mikro-Mola: Nörofizyolojik ve Biyomekanik Yenilenme ve Somatik Eğitim: Fasya, İnterosepsiyon ve Sinir-Kas Dengesi) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikro-mola (1–3 dk)</li> <li>• Fasyal yenileme &amp; eklem dekompresyonu</li> <li>• Nefes koherensi</li> <li>• Hedefli tonus azaltma</li> <li>• Bilişsel reset</li> </ul>                  | Risk aşıldığında veya beden farkındalığına göre kısa, somatik odaklı müdahaleler devreye girer.         |
| <b>Çıktı Katmanı</b><br>(Müzik Eğitimine Somatik-Dijital Hibrit Yaklaşım: Önleyici ve Bütüncül Paradigma)                                      | <b>Kısa vadeli:</b> Ağrı ve yorgunluk azalması, dikkat, hareket ekonomisi.<br><b>Orta vadeli:</b> PRMD belirtileri azalır, teknik verimlilik artar.<br><b>Uzun vadeli:</b> Sürdürülebilir performans, öz-etkinlik, mesleki esenlik. | Müdahale ve izleme süreçleri hem sağlık hem de öğrenme çıktılarında bütüncül iyileşme sağlar.           |
| <b>Geri Bildirim Döngüsü</b>                                                                                                                   | Seans/hafta raporları → eşiklerin ve müdahale içeriklerinin kişiselleştirilmesi                                                                                                                                                     | Model dinamik biçimde bireye uyarlanır; öğrenme ve sağlık döngüsü kişisel verilerle güncellenir.        |

Tablo 1’de sunulan kavramsal çerçeve, çalışmadan elde edilen tematik bulguların bütünlleştirilmesiyle geliştirilmiş önleyici bir model olarak ortaya çıkmaktadır. Çerçeve, müziyenlerin sağlık ve performans sürdürülebilirliğini etkileyen süreci beş katmanda açıklamaktadır: Girdi katmanı belirlenen temalarından ilkinin yansıtan “müziyen sağlığı ve PRMD” üzerine tasarlanmıştır. Bireysel özellikler ve çalışma taleplerinin PRMD riskini şekillendirdiğini göstermektedir. Süreç katmanı, “Dijital Sağlık Teknolojileri: Nesnel Ölçüm ve Kişiselleştirilmiş Geri Bildirim” temasını yansıtarak hem nesnel (IMU/EMG ölçümleri) hem de öznel

(interoseptif farkındalık, öz-değerlendirme) izleme ile çift yönlü bir değerlendirme sağlamaktadır. Bu izleme sonucunda tetiklenen müdahale katmanı ise “Mikro-Mola: Nörofizyolojik ve Biyomekanik Yenilenme ve Somatik Eğitim: Fasya, İnterosepsiyon ve Sinir-Kas Dengesi” olarak iki temanın ortak kullanımını yansıtan 1–3 dakikalık mikro-molalar aracılığıyla fasya mobilizasyonu, nefes koherensi, hedefli tonus azaltma ve bilişsel yenilenme stratejilerini içermektedir. Çıktı katmanı, “Müzik Eğitimine Somatik-Dijital Hibrit Yaklaşım: Önleyici ve Bütüncül Paradigma” isimli dördüncü temayı içeren katmandır. Kısa vadede yorgunluk ve ağrı azalması, orta vadede PRMD belirtilerinde azalma ve teknik verimlilik artışı, uzun vadede ise sürdürülebilir performans ve mesleki esenlik kazanımlarıyla ilişkilidir. Son olarak geri bildirim döngüsü, elde edilen verilerin seans ve haftalık raporlarla kişiselleştirilerek eşiklerin ve müdahale içeriklerinin uyarlanması sağlamaktadır. Böylece model hem sağlık temelli hem de pedagojik çıktıları bütünleştiren dinamik ve önleyici bir öğrenme ekosistemi sunmaktadır.

### 3.6.1 Uygulama Protokolü

Araştırmada ortaya konulan Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola modeli uygulanırken uyulması gereken protokol aşağıdaki gibidir:

**Tablo 2**

Somatik-dijital hibrit mikro-mola modeli uygulama protokolü

| Faz                              | Etkinlikler                                                                 | Süre                                                                   | Çıktı                                                                                        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Başlangıç Değerlendirmesi</b> | IMU/EMG baseline; ağrı-haritası çıkarma; teknik alışkanlık analizi yapma    | 30–45 dk                                                               | Kişisel risk profili ve eşikler belirlenir                                                   |
| <b>Eşik Tanımlama</b>            | Çalgı-özel açılı/tekrar eşikleri; EMG normal aralığı tespit edilir          | 1 seans                                                                | Kişiye uygun uyarı eşığının tespit edilmesi                                                  |
| <b>Mikro-Mola Tasarımı</b>       | 1–3 dk’lık 6–8 adet somatik kartlar (fasya, nefes, tonus, vestibüler reset) | 1–3 dk’lık 6–8 somatik kartlar (fasya, nefes, tonus, vestibüler reset) | Kişiselleştirilmiş protokol seti ile mikro-molalarda kişiye göre yapılacaklar tespit edilir. |

|                            |                                                       |            |                                              |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------|
| <b>Canlı İzleme</b>        | IMU/EMG tabanlı uyarılar ile izleme; hedefli müdahale | Her oturum | Anlık risk azaltma                           |
| <b>Seans Sonu Özeti</b>    | Yük grafiği; mola uyumu, öznel yorgunluk tespiti      | 5 dk       | Sonraki oturum mikro-hedeflerin belirlenmesi |
| <b>Haftalık Adaptasyon</b> | Trend analizi; eşik/içerik güncellemesi               | Haftalık   | Süreç kişiselleştirmesi                      |

Tablo 2'e göre, modelin pratikte nasıl uygulanabileceğini aşamalı olarak tanımlamaktadır. Protokol, başlangıç değerlendirmesiyle müzisyenin risk profili ve bireysel eşiklerinin belirlenmesiyle başlamakta; bu süreçte IMU ve EMG ölçümleri, interoseptif farkındalık ölçekleri ve öznel ağrı-yorgunluk haritaları kullanılmaktadır. Ardından eşik tanımlama aşaması, çalgıya özgü postür, tekrar yoğunluğu ve kas aktivasyon aralıklarını kişiselleştirmeye odaklanmaktadır. Mikro-mola tasarımı fazında ise fasya mobilizasyonu, nefes koherensi, hedefli tonus azaltma ve kısa bilişsel reset içerikli 1–3 dakikalık protokoller oluşturulmaktadır. Canlı izleme aşaması, seans sırasında IMU/EMG verilerine dayalı anlık uyarılar ve kişiye özgü müdahale önerilerini içerirken; seans sonu özetleri, yüklenme grafikleri, mola uyum yüzdesi ve öznel yorgunluk değerlendirmeleriyle süreci pekiştirmektedir. Haftalık adaptasyon ise uzunlamasına verilerden elde edilen trendler doğrultusunda eşiklerin ve müdahale içeriklerinin dinamik biçimde güncellenmesini sağlamaktadır. Bu yapı, modelin yalnızca teorik değil, pratik olarak da uygulanabilir olduğunu ve müzisyenlerin sağlık ile öğrenme çıktılarında kişiselleştirilmiş, önleyici bir dönüşüm yarattığını göstermektedir.

### 3.6.2. Modelin Örnek Olay Üzerinden Uygulama Basamaklarının Açıklanması

Bu bölüm, Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli'nin (SDHMM) uygulanaşına ilişkin varsayımsal bir örnek olayı (*kurgu senaryo*) açıklamaktadır. Amaç, modelin nasıl işleyeceğini, hangi aşamalardan geçtiğini ve farklı bileşenlerin birbirine nasıl entegre olduğunu somut bir senaryo üzerinden göstermektir.

#### 1) Katılımcı ve Görevler

Bu örnek olayda, sağ el baskın, konservatuvar 3. sınıf bir piyano öğrencisinin çalışma süreci temel alınmıştır.

Katılımcının görevleri üç farklı müzikal etkinlikten oluşmaktadır (her biri yaklaşık 10 dakika):

**G1:** C majör gam ve arpej çalışması ( $\text{♩}=120$ ),

**G2:** Staccato ve legato pasajların dönüşümlü olduğu etüd,

**G3:** Repertuvardan hızlı tempolu bir bölüm.

Çalışma dizilimi,  $3 \times 10$  dakikalık performans bloklarından oluşur. Her bloğun ardından, sistem tarafından belirlenen eşik değerler aşıldığında 1–3 dakikalık mikro-molalar uygulanır. Bu molalar, katılımcının bedeninde artan yüklenmeye karşı kısa süreli ama hedefli bir yenilenme sağlar.

## **2) Kullanılan Donanım ve Yerleşim**

Modelin temelinde, katılımcının bedensel durumunu nesnel ölçümlerle ve öznel geri bildirimlerle eş zamanlı takip eden üçlü bir değerlendirme sistemi bulunmaktadır.

### **a. Kas Aktivitesi Ölçümü (EMG)**

Önkol kaslarının (parmak hareketlerinden sorumlu fleksör ve ekstansör kas grupları) elektriksel etkinliği, Myo Armband benzeri sekiz kanallı bir sensör aracılığıyla izlenir. Bu cihaz kasların ne kadar yoğun çalıştığını sayısal olarak gösterir. Sinyaller “RMS (Root Mean Square)” yöntemiyle işlenir; bu yöntem, kasın ortalama aktivite gücünü temsil eder ve aşırı yüklenmeyi tespit etmeye yardımcı olur.

### **b. Postür ve Hareket İzleme (IMU)**

IMU sensörleri, bilek ve sırtın üst kısmına (T1–T2 omurları hizasına) yerleştirilir. Bu sensörler, piyanistin bilek açısını ve gövde eğimini sürekli izleyerek tekrarlayan hareketleri ve duruş sapmalarını saptar.

### **c. Katılımcı Geri Bildirimi (Öznel Kanallar)**

Katılımcı kendi deneyimini şu araçlarla değerlendirir:

**VAS (Visual Analog Scale):** 0–10 arası ağrı düzeyi,

**Borg Ölçeği:** Algılanan yorgunluk,

**Kısa Interosepsiyon Listesi:** Bedensel farkındalık düzeyi.

Bu sayede sistem hem ölçülebilir bedensel verileri hem de katılımcının hissini birlikte değerlendirir.

### **3) Kalibrasyon ve Başlangıç Değerlendirmesi (Yaklaşık 30–45 dk)**

Her sensör bireye özgü biçimde ayarlanır. Modelin işleyiş mantığı “IMU ne zaman, EMG neyin hedefleneceğini belirler” ilkesine dayanmaktadır. Yani IMU postürde bir sapma tespit ettiğinde, EMG hangi kasın aşırı çalıştığını belirler.

#### **EMG Kalibrasyonu**

Katılımcıdan parmaklarını en güçlü biçimde büküp açması istenir. Bu sırada kaydedilen en yüksek kas aktivitesi değeri MVC (Maximum Voluntary Contraction) olarak tanımlanır. Tüm ölçümler bu değerin yüzdesi (%MVC) üzerinden değerlendirilir; böylece kişiye özel bir “kas yüklenme profili” elde edilir.

#### **IMU Kalibrasyonu**

Katılımcı dirsek 90° ve bilek 10–15° pozisyonundayken “nötr duruş” referansı oluşturulur. Sistem, bu pozisyondan sapmaları postürel değişim olarak algılar.

#### **Bazal Oturum**

Katılımcı 3 dakika dinlenir, ardından 3 dakika düşük tempoda piyano çalar. Bu oturum, kişinin çalışma biçimini ve olası riskli kas veya duruş alışkanlıklarını belirlemek için kullanılır.

### **4) Mikro-Mola Tetikleyicileri**

Model, kas yüklenmesi veya duruş bozulması belirli eşiklere ulaştığında otomatik uyarı verir. Bu uyarılar, müzisyenin aşırı kasılma ya da postürel yorgunluk yaşamasını önlemeyi amaçlar.

Kırmızı Tetik (Zorunlu Mola):

- Kas yükü %80'in üzerinde 20 saniyeden uzun sürerse, sistem “önkol gevşetme molası” önerir.
- Bilek 30°'den fazla bükülü veya gövde 20°'den fazla öne eğik biçimde 2 dakikadan uzun süre kalırsa, “boyun ve omuz gevşetme molası” tetiklenir.

Turuncu Tetik (Uyarı)

- Kas aktivitesi %60'a, bilek açısı 25°'ye ulaştığında veya
- Katılımcı 3/10 üzeri ağrı ya da belirgin yorgunluk bildirdiğinde, sistem “çalışma biçimini düzelt” uyarısı verir.

- Bu eşikler, katılımcının ilerlemesine göre haftalık adaptasyon döngüsü içinde yeniden tanımlanır. Amaç, her müzisyene özgü dinamik bir geri bildirim sistemi oluşturmaktır.

### 5) Mikro-Mola İçeriği (1–3 Dakika)

Mikro-molalar, kısa süreli fakat hedefe yönelik somatik egzersizlerden oluşur. Amaç, kasların gevşemesini, kan dolaşımının artmasını ve nörofizyolojik dengeyi yeniden kurmaktır.

**Tablo 3**

Somatik-dijital hibrit mikro-mola modelinin örnek olay uygulama özeti ve mikro-mola içeriği

| Tetiklenen Bölge                | Uygulanan Egzersiz                                      | Süre   |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|--------|
| <b>Önkol (EMG tetik)</b>        | Tendon kaydırma, bilek aç/kapa, silkme, nefes koherensi | 2 dk   |
| <b>Omuz-Skapula (IMU tetik)</b> | Omuz serbestleştirme, scapular slide, uzun nefes        | 2 dk   |
| <b>Boyun (IMU/özel)</b>         | Chin-tuck, suboksipital gevşetme                        | 1 dk   |
| <b>Otonom Denge (özel)</b>      | 6 nefes/dk ritmik nefes                                 | 1–2 dk |

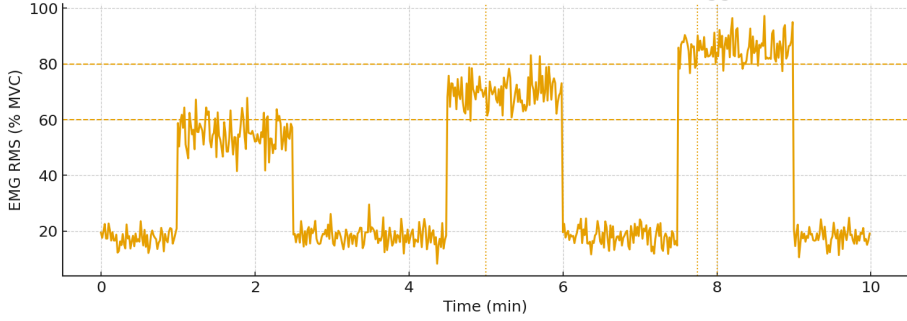
Tablo 3'e göre bu egzersizler modelin kısa, hedefli, öz-farkındalık temelli yaklaşımını yansıtmaktadır.

### 6) Veri Kaydı ve Oturum Raporu

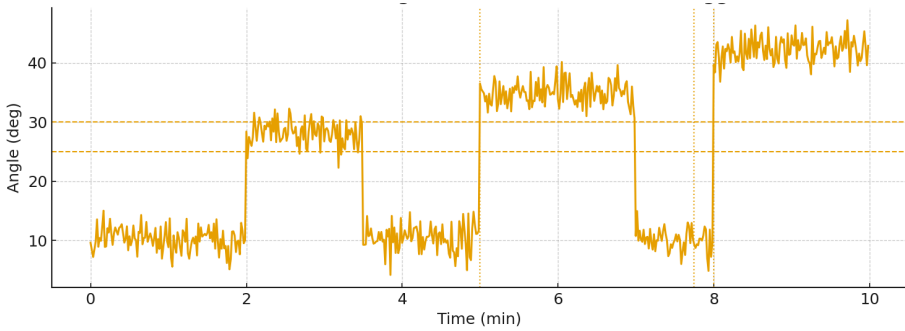
Oturum boyunca EMG ve IMU verileri kaydedilir. Tetik anları işaretlenir, böylece hangi kas veya postür segmentinin hangi anda zorlandığı görülebilir. Oturum sonunda model:

1. Kas yüklenme grafiğini,
2. Mola tetiklenme anlarını,
3. Öznel yorgunluk ve ağrı puanlarını  
özetleyen bir rapor oluşturur.

Bu rapor, müzisyen ve eğitmen için bir öğrenme geri bildirimi işlevi görür; çalışma biçiminin fark edilmesi ve geliştirilmesi için somut bir dayanak sağlar.



**Şekil 3.** Temsili EMG mikro-mola tetik grafiği



**Şekil 4.** Temsili IMU sürdürülen postür bozulmalarına bağlı mikro-mola grafiği

Bu temsili grafik, piyanistin önkol kas aktivitesini (EMG) zamana göre göstermektedir. Dikey kesikli çizgiler, otomatik mikro-mola tetik anlarını temsil eder. Eğer kas aktivitesi, maksimum kasılma düzeyinin %80'inin üzerinde ve 20 saniyeden uzun süre devam ederse sistem bu durumu “aşırı yüklenme” olarak algılar ve önkol için kısa bir somatik mikro-mola önerir. Bu eşikler kişiye özel olarak kalibre edilir ve her hafta güncellenir, böylece sistem her müzisyenin kas dayanıklılığına ve gelişimine uyum sağlar.

Bu grafik, bilek veya gövde eğim açısındaki değişimleri (IMU verilerini) göstermektedir. Dikey kesikli çizgiler, sürdürülen postür bozulmalarına bağlı mikro-mola tetik anlarını gösterir. Eğer bilek açısı 30°'nin üzerinde veya gövde

eğimi 20°'nin üzerinde ve bu durum 120 saniyeden uzun süre devam ederse, sistem boyun ve omuz bölgesine yönelik gevşetici mikro-mola önerir. Bu ölçütler de yine bireysel olarak kalibre edilir ve müzisyenin haftalık ilerlemesine göre ayarlanır.

## 7) Analiz Planı

Bu örnek olayda modelin performansı, hem nesnel ölçümler (EMG–IMU) hem de öznel deneyimler (ağrı, yorgunluk) üzerinden değerlendirilmiştir. Amaç, modelin kısa molaların fizyolojik ve davranışsal etkilerini nasıl yansıttığını gösterebilmektir.

### Birincil çıktılar

1. **Tetik başına EMG düşüş yüzdesi:** Mikro-mola sonrasında kas yüklenmesindeki azalma oranı.
2. **Tetik sonrası IMU açısı iyileşmesi (°):** Mola sonrası postürün nötr pozisyona yaklaşma derecesi.
3. **Mola uyum yüzdesi:** Katılımcının önerilen mikro-molaları uygulama oranı.
4. **VAS/Borg değışimi:** Katılımcının ağrı ve yorgunluk düzeylerindeki değışim.

### İkincil çıktılar

- Performans blokları boyunca tekrar sayısı ve hata oranı (MIDI veya akustik veri üzerinden).
- Öz-düzenleme günlüğü: Katılımcının mola ve beden farkındalığına ilişkin kısa notları.

### İstatistiksel yaklaşım

- Tetik öncesi ve tetik sonrası dönemler eşleştirilmiş karşılaştırmalarla (ör. Wilcoxon testi) analiz edilir.
- Haftalık ölçümler, trend analizi ile izlenir ve eşik değerleri bireye göre ayarlanır.
- Böylece model, sürekli geri bildirim döngüsüyle kişiselleştirilen bir farkındalık sistemi olarak çalışır.

## 8) Oturum Akışı

Bu kurgu senaryoda, modelin bir eğitim seansında nasıl ilerleyeceği aşağıda özetlenmiştir:

**a) Kurulum ve kalibrasyon:**

EMG için *maksimum kasılma* (MVC) ve IMU için *nötr postür* kaydı alınır.

Katılımcının başlangıç profili oluşturulur.

**b) Performans blokları (G1–G3, her biri 10 dk):**

Katılımcı üç farklı müzikal görevde performans sergiler.

Sistem, EMG ve IMU verilerini sürekli izler.

Eşik aşıldığında 1–3 dakikalık somatik mikro-mola devreye girer.

**c) Oturum sonu değerlendirme:**

Katılımcının kas yükü, postür grafikleri ve öznel geri bildirimleri özetlenir.

Bu verilere göre, katılımcıya bir haftalık kişisel egzersiz ve mikro-mola planı verilir.

**d) Takip ve adaptasyon:**

Katılımcı her seansta yeniden değerlendirilir.

Kas dayanıklılığı, postür kontrolü ve farkındalık gelişimine göre eşik değerleri güncellenir.

Böylece model, bireysel adaptasyonla sağlıklı çalışma alışkanlığı kazandırır.

**e) Çıktıları**

Model, literatürdeki mevcut bulgularla da uyumlu olarak;

- Kısa süreli farkındalık temelli molaların kas yükünü azalttığını,
- postüral farkındalığı artırdığını,
- Uzun vadede müzisyenin sağlıklı çalışma alışkanlığı kazandığını destekleyen niteliktedir.

## TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

### 4.1. Alt Problemlerin Yanıtlarına İlişkin Sonuçlar

#### **4.1.1 Müzisyenlerde PRMD'nin kısa ve uzun vadede performansa ve müzik yaşamına etkileri nelerdir?**

Kısa vadede PRMD, ağrı, sızlama, uyuşma, güçsüzlük ve hareket kısıtlılığı gibi semptomlarla pratik sürelerini ve performans kalitesini doğrudan etkileyerek çalışma bloklarının bölünmesine ve performans güveninin azalmasına yol açmaktadır (Ackermann ve Adams, 2004). Özellikle boyun-omuz kuşağı ve üst ekstremitelerde görülen yakınmalar, ince motor kontrolü ve hız-hassasiyet dengesini bozarak teknik icrada dalgalanmaya neden olmaktadır (Kok vd., 2013). Bu semptomlar, prova ve sahne öncesi ısınma rutinlerini uzatmakta, acıdan kaçınma davranışlarını artırmakta ve kısa vadede icra riski yönetimi ihtiyaçlarını artırmaktadır.

Orta vadede PRMD semptomları öğrenme verimliliğini düşürmekte, yoğun pratik yerine telafi stratejilerine (ör., parça değiştirme, kolay pasajlara yönelme) yol açarak repertuvar gelişimini yavaşlatmaktadır (Zaza, 1998). Ağrıya eşlik eden uyku bozuklukları ve yorgunluk, dikkat sürdürülebilirliğini azaltarak hataya açıklığı artırmaktadır (Rickert vd., 2014). Bu koşulların tekrarı, öğrencilerde kaçınmacı öğrenme paternleri ve negatif performans beklentisi oluşturmakta, öğretim-öğrenme ilişkisinde motivasyonel kopuşlara neden olabilmektedir.

Uzun vadede PRMD, kronik ağrı sendromlarına, tendon ve fasya dokusunda yapısal değişimlere, sinir sıkışmalarına ve bazı olgularda fokal distoni gibi meslek yaşamını tehdit eden nöromusküler bozukluklara ilerleyebilmektedir (Altenmüller ve Jabusch, 2010; Rotter vd., 2020). Bu durum, konser iptalleri, kayıt gecikmeleri ve turne kısıtlamaları gibi mesleki sonuçlar doğurarak kariyer sürdürülebilirliğini zedelemektedir. Kronik ağrı ve işlev kaybı, performans anksiyetesi ve tükenmişlik riskini artırmakta; sanatçı kimliğinde sarsılmalara yol açabilmektedir (Spahn vd., 2004).

Ekonomik-sosyal düzlemde PRMD, tedavi ve rehabilitasyon maliyetlerini, ders/konser kaybından doğan gelir düşüşlerini ve kurumlar için iş gücü kayıplarını beraberinde getirmektedir. Eğitim kurumlarında devamsızlık ve performans düşüşü; bireysel düzeyde ise mesleği bırakma veya uzun ara verme kararlarına zemin hazırlayabilmektedir. Özetle PRMD, kısa vadede performans kalitesini ve öğrenme verimini, uzun vadede ise kariyer sürekliliğini ve mesleki kimliği tehdit eden çok boyutlu bir yük oluşturmaktadır.

Modeldeki yeri bağlamında ise bu bulgu kümesi, hibrit modelin çıkış gerekçesini oluşturmakta; riskin yüksek ve çok boyutlu olduğunu göstererek önleyici, sistematik ve kişiselleştirilebilir bir çözüm ihtiyacını doğrulamaktadır.

#### **4.1.2. Mikro-molaların müzisyenlerin öğrenmesine, dikkatine ve kas-iskelet sağlığına holistik etkileri nelerdir?**

Mikro-molalar, kas-iskelet yüklenmesini döngüsel olarak azaltıp doku iyileşmesine kısa pencereler açarak ağrı birikimini sınırlamaktadır (Bennett vd., 2018). Kısa aralarda kas içi metabolit temizliği ve oksijenlenme artışı, mikrotravma birikimini frenlemekte; bu sayede aynı gün içindeki devam eden pratik bloklarının kalitesi korunmaktadır. Mikromola uygulanmayan uzun bloklarda görülen statik yüklenme ve tekrarlayan hareket paternleri, fasya-tendon kayma bozukluklarını ve kas tonus artışını kolaylaştırmaktadır (Schleip, 2003). Bu nedenle düzenli mikro-mola, biyomekanik yenilenme mekanizması olarak işlev görmektedir.

Bilişsel düzeyde mikro-molalar, çalışma belleği ve dikkat ağlarının yeniden ayarlanmasına katkı sağlamaktadır. Kısa aralar, “default mode network” aktivasyonu ve zihinsel gevşeme ile bilgi konsolidasyonunu desteklemekte; tekrar-bloklarının azalan getiriler evresine girmesini geciktirmektedir (Christoff vd., 2016). Aralıklı öğrenme ve spacing effect üzerine nicel sentezler, dağıtılmış çalışmanın kalıcılığı artırdığını göstermekte; bu etki, müzikal motor hafızanın oturması açısından da önem taşımaktadır (Cepeda vd., 2006). Böylece mikro-mola, dikkat yenilenmesi ve öğrenme verimliliği için pedagojik bir kaldıraç sunmaktadır.

Psikofizyolojik açıdan mikro-molalar, duygusal regülasyon ve stres azaltımı için hızlı müdahale pencereleri yaratmaktadır. Kısa nefes-odaklı, farkındalık temelli geçişler, sempatik aktivasyonu törpüleyip vagal tonusu güçlendirerek performans kaygısının yükseldiği anlarda öz-düzenleme imkânı sunmaktadır (Mehling vd., 2012). Bu, özellikle yoğun prova-sahne dönemlerinde esnek dayanıklılık (resilience) kazandırmakta ve negatif duygulanımın motor kontrol üzerinde bozucu etkisini azaltmaktadır.

Eğitsel uygulanabilirlik açısından mikro-mola protokollerinin kısa (2–3 dk), yapılandırılmış ve rehberli olması katılımı artırmaktadır (Albulescu vd., 2022; Zacher vd., 2016). Öğrenci ve eğitmen, molaları planlı olarak ders akışına yerleştirdiğinde, pratiklerin homojen kalitede sürdürülmesi mümkün olmakta; yinleme sayısından çok nitelikli tekrar hedeflenmektedir. Sonuç olarak mikro-molalar, bedensel-bilişsel-duygusal eksenlerde holistik yarar üreterek müzisyen öğrenmesini ve sağlığını desteklemektedir.

Modeldeki yeri bağlamında ise mikro-mola, hibrit modelin müdahale birimi olup ne zaman devreye gireceğini dijital izleme, ne ile doldurulacağını somatik protokoller belirlemektedir.

#### **4.1.3. Somatik eğitim yaklaşımlarının (ör. Feldenkrais, Alexander Tekniği) müzisyen sağlığı üzerindeki etkileri nelerdir?**

Somatik yaklaşımlar, postüral tonus, hareket kalitesi ve interoseptif farkındalık üzerinde hedefli değişim yaratarak müzisyen sağlığını desteklemektedir. Alexander Tekniği'ne ilişkin kontrollü çalışmaların sistematik derlemesi, ağrı, kas-gerginliği ve performansa ilişkin öz-değerlendirmelerde anlamlı iyileşmeler göstermektedir (Klein vd., 2014). Deneysel bağlamlarda Alexander eğitimi, eklem baskısını azaltan ve boyun-omuz hizalanmasını iyileştiren motor strateji değişimleriyle ilişkilendirilmektedir (Cacciatore vd., 2011). Bu değişimler, performans sırasında gereksiz eş-aktivasyonun azalmasına katkı sağlamaktadır.

Feldenkrais yöntemi üzerine klinik derlemeler, vücut şeması farkındalığını ve hareket ekonomisini artırarak fonksiyonel ağrılarda azalma bildirmektedir (Hillier ve Worley, 2015). Müzik bağlamında Feldenkrais, sensörimotor keşif ve alışkanlık kırma ilkeleriyle, otomatikleşmiş yük bindiren kalıpların güvenli alternatiflerle yer değiştirmesini teşvik etmektedir. Bu, özellikle tekrarlayıcı pasajlarda “daha az güçle daha çok etki” prensibinin içselleştirilmesi açısından kritik olmaktadır.

Interoseptif farkındalığın somatik eğitimle güçlenmesi, erken uyarı işaretlerinin (mikro ağrı, sıkışma hissi, nefes daralması) fark edilmesini kolaylaştırmakta ve zamanında öz-düzenleme yapılmasına olanak tanımaktadır (Mehling vd., 2012). Bu durum, mikro-molalar sırasında hedefli gevşeme/nefes protokollerinin etkinliğini artırmakta; beden sinyallerinin anlamlandırılması üzerinden öğrenen özneyi güçlendirmektedir. Erken bulgular, yüksek stres altında Alexander dersi alan müzisyenlerde performans kalitesinin görece olarak daha kararlı seyrettiğini göstermektedir (Valentine vd., 1995).

Somatik yaklaşımlar, yalnızca semptom azaltımı değil, öğrenme transferi ve sahne dayanıklılığı açısından da katkı üretmektedir. Postür-nefes-hareket üçlüsünün eşgüdümü, motor planlama ve zamanlama süreçlerini iyileştirmekte; bu da icranın tutarlılığına ve ifade gücüne yansımaktadır. Sonuç olarak somatik eğitim, ağrı yönetimi, hareket ekonomisi ve performans psikofizyolojisi düzlemlerinde kanıta dayalı katkılar sunmaktadır.

Modeldeki yeri bağlamında ise somatik yaklaşım, hibrit modelin içerik birimi olup mikro-mola anlarında uygulanacak kısa, güvenli ve hedefli protokollerin pedagojik kaynaklarını sağlamaktadır.

#### **4.1.4. Dijital sağlık teknolojileri (IMU, EMG sensörleri vb.) postür ve kas aktivitesini ölçmede güvenilir sonuçlar vermekte midir?**

IMU sensörleri, jiroskop-ivmeölçer-manyetometre kombinasyonu ile segment hareketlerini yüksek örnekleme hızlarında izlemekte ve saha koşullarında geçerli-güvenilir kinematik veriler üretmektedir (Yang ve Hsu, 2010). Klinik-saha protokollerinde IMU tabanlı sistemlerin yürüyüş ve postür analizinde laboratuvar referanslarına yakın doğrulukta ölçümler verdiği gösterilmektedir (Cutti vd., 2010). Yakın dönem metodoloji makaleleri, IMU ile açı sapması, hız ve ivme ölçümlerinin standartlaştırılmasıyla kullanıcı hareketlerinin zamansal-uzamsal haritalarının güvenle çıkarılabildiğini bildirmektedir (Picerno, 2017). Bu kanıt hattı, enstrüman-spesifik postür sapmalarının erken saptanması açısından IMU'yu uygun kılmaktadır.

Yüzeyel EMG (sEMG), kasların elektriksel aktivitesini non-invaziv olarak ölçmekte; cilt-elektrot yerleşimi ve filtreleme protokolleri standardize edildiğinde tekrar edilebilir sonuçlar vermektedir (De Luca, 1997; Hermens vd., 2000). sEMG, kas aktivasyon düzeylerini, koaktivasyon paternlerini ve yorgunluk indekslerini izlemede yaygın kullanılan bir yöntemdir. Müzisyenlik bağlamında parmak-ökol-omuz kas aktivitesine ilişkin sEMG çalışmalarının, yüksek teknik icra ile gereksiz kasılma ayrımını nesnelleştirebildiği gösterilmektedir (Furuya ve Kinoshita, 2008). Böylece aşırı yüklenen kas grupları hedefli müdahale için belirlenebilmektedir.

Güvenilirliğin pratiğe çevirisi açısından IMU ve sEMG'nin eş-zamanlı kullanımı hem postüral hizalanma hem de aktivasyon deseni hakkında tamamlayıcı bilgi sağlamaktadır. IMU, "ne kadar süredir hangi açıda kaldın?" sorusunu; sEMG ise "hangi kas bunu ne düzeyde gerçekleştirdi?" sorusunu yanıtlamaktadır. Bu çift kaynaklı veri, eşik tabanlı uyarı ve kişiselleştirilmiş mola içeriği üretiminde doğruluğu artırmaktadır (Bonato, 2010). Literatür, giyilebilirlerin rehabilitasyon ve spor bilimlerinde klinik karar destek araçlarına entegre edilebildiğini göstermekte; müzik pedagojisinde benzer bir entegrasyonun teknik olarak mümkün ve metodolojik olarak savunulabilir olduğunu düşündürmektedir.

Kalibrasyon ve bireysel farklılık yönetimi, giyilebilir ölçümlerin doğru yorumlanması için kritik önemdedir. Kişiye özgü referans postür ve aktivasyon tabanı belirlendiğinde, sapmalar daha anlamlı hale gelmektedir. Bu da hibrit modelde başlangıç kalibrasyonu ve öğrenen algoritmaların neden zorunlu olduğunu açıklar niteliktedir.

Modeldeki yer bağlamında bakıldığında ise giyilebilirler, hibrit modelin izleme ve tetikleme birimi olup ne zaman müdahale edilmesi gerektiğini saptamak ve hangi kas/postür odağıyla ne tür somatik protokol uygulanacağını seçmek için nesnel dayanak ürettiğini söylemenin mümkün olduğu görülmektedir.

#### **4.1.5. Bu dört boyut birlikte ele alındığında, müzik eğitiminde holistik bir hibrit model oluşturulabilir mi?**

Birlikte değerlendirildiğinde veriler, yüksek PRMD riski ile mikro-molanın biyopsikososyal yararları ve somatik içeriklerin kanıta dayalı etkilerinin, giyilebilir sensörlerin güvenilir ölçümleri üzerinden zamanlama ve kişiselleştirme ile birleştirilebildiğini göstermektedir. Bu entegrasyon, önleyici ve öğrenme odaklı bir pedagoji için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Eğitim sürecinde veri destekli erken uyarı sayesinde doku yüklenmesi kritik eşiği geçmeden müdahale edilmekte; mikro-mola pencereleri, somatik içeriklerle hedefli ve kısa olarak doldurulmaktadır. Böylece öğrenci, “daha çok tekrar” yerine “daha akıllı döngü” ile ilerlemektedir.

Hibrit yaklaşım, yalnızca semptom yönetimi değil, aynı zamanda alışkanlık dönüşümü ve öz-düzenleme kapasitesini hedeflemektedir. Somatik okuryazarlık ile dijital farkındalık birleştiğinde, öğrenci kendi beden sinyallerini nesnel veriler ile eşleştirerek anlamlandırma ve kendi kendini koçlama becerisini geliştirmektedir. Bu durum, öğretmenin rolünü veri okuryazarı mentöre dönüştürmekte ve sınıf-prova ekosistemini öğrenen merkezli hale getirmektedir.

Model, pedagojik ölçeklenebilirlik ve kurumsal entegrasyon açısından da olanaklar sunmaktadır. Giyilebilir tabanlı pano ve raporlar, öğrenci ilerlemesini zamana bağlı göstergelerle görünür kılmakta; kurumsal düzeyde erken uyarı kültürü ve sağlık protokollerinin tasarlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu tür veri ekosistemi, araştırma-uygulama iş birliklerine ve kanıta dayalı müfredat geliştirmeye kapı aralamaktadır.

Son olarak hibrit model; nöroplastisite ve bedenselleşmiş biliş kuramlarıyla uyumludur. Aralıklı-hedefli müdahaleler; duyu-motor ağlarda verimli haritalama, enerji ekonomisi ve dikkat yenilenmesi üzerinden öğrenmenin kalıcılığını desteklemektedir (Herholz ve Zatorre, 2012; Leman, 2008). Böylece model, sağlık ve öğrenme çıktılarında çifte kazanç üreten bir kuramsal-uygulamalı çerçeve sunmaktadır.

Modeldeki yer bağlamında değerlendirildiğinde ise bu sorunun yanıtının, dört boyutun bütünleşimini ve hibrit modelin neden, nasıl ve ne zaman işe yaradığını kavramsal düzeyde gerekçelendirmekte; makalenin öneri kısmına metodolojik bir köprü kurmakta olduğu fark edilmektedir.

#### **4.1.6. Ana Problem Cümlesinin Yanıtı**

Müzik eğitiminde Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli, müzisyen sağlığına yönelik etkili, önleyici ve bütüncül bir yaklaşım olarak uygulanabilir mi?

Birinci bulgu seti, PRMD'nin kısa-orta-uzun vadede performans kalitesi, öğrenme verimi ve kariyer sürdürülebilirliği üzerinde çok katmanlı olumsuz etkileri olduğunu göstermiştir (Ackermann ve Adams, 2004). Bu etki, ağrı ve işlev kaybının ötesinde motivasyon, kimlik ve ekonomik sonuçlar doğurarak eğitim ekosisteminde süreklilik sorunları yaratmaktadır. Dolayısıyla önleyici bir pedagojik yaklaşıma duyulan ihtiyaç yüksek düzeyde temellendirilmiştir.

İkinci ve üçüncü bulgu setleri, mikro-molaların biyomekanik ve nörobilişsel yenilenme sağladığını; somatik yaklaşımların postüral tonus, hareket ekonomisi ve interoseptif farkındalık üzerinde kanıta dayalı iyileştirmeler ürettiğini ortaya koymuştur (Klein vd., 2014; Hillier ve Worley, 2015). Bu iki bileşen bir araya geldiğinde, müdahalenin hem zamanlaması hem de içeriği açısından güçlü bir pedagojik çekirdek oluşmaktadır.

Dördüncü bulgu seti, IMU ve sEMG sensörlerinin postür ve kas aktivitesini güvenilir ve saha koşullarına uygun biçimde izleyebildiğini, kalibrasyon ve standartlarla desteklendiğinde karar destek üretmekte etkin olduğunu göstermiştir (Cutti vd., 2010; Hermens vd., 2000; Bonato, 2010). Böylelikle “ne zaman mola?” sorusu IMU ile, “hangi kas/postür odağı?” sorusu ise sEMG ile nesnel temelde yanıtlanabilmektedir.

Bütün bulgular birlikte ele alındığında, Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modelinin müzik eğitiminde uygulanabilir, önleyici ve bütüncül bir çerçeve sunduğu sonucuna varılmaktadır. Model; riskin erken saptanması, müdahalenin hedeflenmesi ve öğrenmenin kalıcılaştırılması amacıyla somatik protokolleri giyilebilir verilerle kişiselleştirerek birleştirmektedir. Bu nedenle ana problem sorusu olumlu biçimde yanıtlanmakta; modelin eğitim ve sağlık çıktılarında çifte fayda ürettiği kavramsal düzeyde ikna edici biçimde ortaya konmaktadır.

## **4.2.Tartışma ve Öneriler**

Bu çalışmada önerilen Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli, müzik eğitimi bağlamında hem dijital sensör verilerini (IMU, EMG) hem de somatik farkındalık yaklaşımlarını bütünleştirerek özgün bir eğitim teknolojisi önerisi sunmaktadır. Bu model, bedenin nörofizyolojik tepkilerini (örneğin kas aktivitesi, postür, nefes) gerçek zamanlı olarak izleyip eğitimsel geri bildirim döngüsüne dahil etmesi bakımından, geleneksel müzik pedagojisinden önemli ölçüde ayrılır.

### **4.2.1. Somatik Farkındalık ile Dijital İzleme Arasındaki Köprü**

Son yıllarda müzik performansı pedagojisinde Alexander Tekniği, Feldenkrais Metodu ve Body Mapping gibi somatik farkındalık temelli yaklaşımlar; bedensel farkındalık, hareket organizasyonu, postüral kullanım ve nefesle ilişkili farkındalığın geliştirilmesini amaçlayan pedagojik yöntemler olarak giderek daha fazla ele alınmaktadır (Hillier ve Worley, 2015; Klein vd., 2014; Moreno, 2026). Ancak bu yaklaşımların ölçülebilir fizyolojik göstergelerle desteklenmesi sınırlı kalmıştır. Bu model, IMU (Inertial Measurement Unit) sensörleriyle postür ve hareket dengesini, EMG (elektromiyografi) sensörleriyle de kas aktivasyon düzeylerini izleyerek, bu eksikliği gidermektedir. Böylece, müzik pedagojisinde öznel farkındalık (somatik deneyim) ile nesnel veri (biyomekanik ölçüm) arasında bir köprü kurulmaktadır.

#### **4.2.2. Mikro-Mola Kavramının Eğitsel Değeri**

Modelde önerilen “mikro-mola” yaklaşımı, nörofizyolojik olarak kas yorgunluğunun önüne geçmenin ötesinde, öğrenme verimliliğini koruma işlevi de taşımaktadır. Yapılan araştırmalar, kısa süreli ama düzenli aralıklarla verilen mikro molaların, bilişsel performansı ve dikkat sürekliliğini artırdığını göstermektedir (Nie vd., 2023). Bu bulgu, müzik eğitimi gibi yüksek dikkat ve motor kontrol gerektiren alanlarda özellikle önemlidir. Dolayısıyla model, yalnızca kas-iskelet sağlığını değil, aynı zamanda bilişsel sürdürülebilirliği de destekleyen bir öğrenme çevrimi sunmaktadır.

#### **4.2.3. Bütüncül Öğrenme ve Öğretmen Eğitimi Bağlamında Katkı**

Somatik-Dijital Hibrit Mikro-Mola Modeli, müzik eğitiminde sıkça göz ardı edilen “bedensel öğrenme” boyutunu teknolojik olarak erişilebilir hale getirir. Bu durum, eğitim fakültelerinin öğretmen yetiştirme programlarında da uygulanabilir. Örneğin, öğretmen adaylarının ders anlatımı sırasında duruş, nefes ve kas aktivitesi farkındalıklarını artıracak benzer sensör destekli modeller, öğretmen tükenmişliği ve ses sağlığı gibi alanlarda yeni çözümler sunabilir. Dolayısıyla model, yalnızca müzisyenler için değil, eğitimcilerin bedensel sürdürülebilirliği için de dönüştürücü bir potansiyele sahiptir.

Ayrıca SDHMM, daha çok önleyici bir model olması nedeniyle müzisyenler ve diğer performans sanatçılarının iyilik haline ilişkin çalışmaların yapılabileceği “Müzisyen Sağlığı ve Farkındalık Atölyesi”ne ilişkin dersler kapsamında da bu modelin uygulanması önerilmektedir. Bu sayede müzisyenlerin düzenli ölçümler ile çalışmaları takibe alınarak gerekli egzersizlerin ödev gibi verilmesi ile çalma pozisyonlardaki sağlıksız alışkanlıkları değiştirilebilecektir. Öğretmenler, dijital sensörlü postür geri bildirim araçları sayesinde öğrencilerine beden farkındalığı kazandırabilirler. Öğretmenlerin bu yeterliliği kazanabilmesi için özellikle

üniversitelerin müzik eğitimi veren kurumları ile hastanelerinin bir arada çalışması önerilmektedir. Kısa süreli ve model odaklı meslek içi eğitimler ile müzik eğitimcilerinin (özellikle üniversiteler ve güzel sanatlar liselerinde görev yapan) bu dijital araçları öğrenmesi mümkündür.

#### 4.2.4. Gelecekteki Araştırma Önerileri

Bu model kavramsal düzeyde bütüncül bir çerçeve sunmakla birlikte, gelecekteki araştırmalarda aşağıdaki boyutlarda deneysel doğrulama sağlayabilir:

**Uzunlamasına izleme:** EMG ve IMU verilerinin haftalık mikro-mola sıklığı ve süresiyle ilişkisi incelenebilir.

**Performans ve sağlık göstergeleri:** Mikro-mola uygulamalarının performans hataları, yorgunluk algısı ve kas gerginliği üzerindeki etkisi ölçülebilir.

**Somatik farkındalık ölçekleriyle entegrasyon:** Örneğin *Mindful Attention Awareness Scale* veya *Body Awareness Questionnaire* gibi araçlarla modelin farkındalık etkisi değerlendirilebilir.

**Yapay zekâ destekli uyarılma:** Gelecekte modelin kişiye özel eşik değerlerini (örneğin %MVC veya açısız postür limitleri) otomatik olarak ayarlayan yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilebilir (Donisi vd., 2022; Museck vd., 2024).

Bu yönleriyle model, yalnızca performans sağlığını değil, aynı zamanda müzik eğitiminin dijital dönüşümüne katkı sunma potansiyeli taşımaktadır.

#### 4.2.5. Kuramsal Katkı

SDHMM, müzik eğitiminde fizyolojik, bilişsel ve somatik farkındalık temellerini birleştiren özgün bir kavramsal öneri sunmaktadır. Modelin önemi, müzik eğitimi araştırmalarında genellikle göz ardı edilen “bedensel süreçlerin” ölçülebilir hale getirilmesinde yatmaktadır. Bu yaklaşım hem öğrenci hem de öğretmen sağlığını merkeze alarak, eğitimde sürdürülebilir performans kültürü oluşturma yönünde yenilikçi bir paradigma sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, müzik eğitiminde dijital destekli somatik öğrenme ekosistemlerinin teorik temelini oluşturarak, disiplinler arası araştırmalara ilham verebilecek niteliktedir.

## KAYNAKÇA / REFERENCES

- Ackermann, B., & Adams, R. (2004). Perceptions of causes of performance-related injuries by music health experts and injured violinists. *Perceptual and Motor Skills*, 99(2), 669–678. <https://doi.org/10.2466/pms.99.2.669-678>
- Albulescu, P., Macsinga, I., Rusu, A., Sulea, C., Bodnaru, A., & Tulbure, B. T. (2022). “Give me a break!” A systematic review and meta-analysis on the efficacy of micro-breaks for increasing well-being and performance. *PLOS ONE*, 17(8), e0272460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272460>
- Altenmüller, E., & Jabusch, H.-C. (2010). Focal dystonia in musicians: Phenomenology, pathophysiology, triggering factors, and treatment. *Medical Problems of Performing Artists*, 25(1), 3–9. <https://doi.org/10.21091/mppa.2010.1002>
- Bennett, A. A., Bakker, A. B., & Field, J. G. (2018). Recovery from work-related effort: A meta-analysis. *Journal of Organizational Behavior*, 39(3), 262–275. <https://doi.org/10.1002/job.2217>
- Bonato, P. (2010). Wearable sensors and systems. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 29(3), 25–36. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2010.936554>
- Cacciatore, T. W., Gurfinkel, V. S., Horak, F. B., Cordo, P. J., & Ames, K. E. (2011). Increased dynamic regulation of postural tone through Alexander Technique training. *Human Movement Science*, 30(1), 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.10.002>
- Cepeda, N. J., Pashler, H., Vul, E., Wixted, J. T., & Rohrer, D. (2006). Distributed practice in verbal recall tasks: A review and quantitative synthesis. *Psychological Bulletin*, 132(3), 354–380. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.3.354>
- Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Mind-wandering as spontaneous thought: A dynamic framework. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(11), 718–731. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.113>
- Cutti, A. G., Ferrari, A., Garofalo, P., Raggi, M., Cappello, A., & Ferrari, A. (2010). 'Outwalk': a protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors. *Medical & Biological Engineering & computing*, 48(1), 17–25. <https://doi.org/10.1007/s11517-009-0545-x>

- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135–163. <https://doi.org/10.1123/jab.13.2.135>
- Donisi, L., Cesarelli, G., Pisani, N., Ponsiglione, A. M., Ricciardi, C., & Capodaglio, E. (2022). Wearable sensors and artificial intelligence for physical ergonomics: A systematic review of literature. *Diagnostics*, 12(12), 3048. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12123048>
- Furuya, S., & Kinoshita, H. (2008). Organization of the upper limb movement for piano key-depression differs between expert pianists and novice players. *Experimental Brain Research*, 185(4), 581–593. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1184-9>
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. *Neuron*, 76(3), 486–502. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011>
- Hermens, H. J., Freriks, B., Disselhorst-Klug, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(5), 361–374. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
- Hillier, S., & Worley, A. (2015). The effectiveness of the Feldenkrais Method: A systematic review of the evidence. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 752160. <https://doi.org/10.1155/2015/752160>
- Jaakkola, E. (2020). Designing conceptual articles: Four approaches. *AMS Review*, 10(1–2), 18–26. <https://doi.org/10.1007/s13162-020-00161-0>
- Klein, S. D., Bayard, C., & Wolf, U. (2014). The Alexander Technique and musicians: A systematic review of controlled trials. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1), 414. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-414>
- Kochem, F. B., & Silva, J. G. (2018). Prevalence of playing-related musculoskeletal disorders in string players: A systematic review. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 41(6), 540–549. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.05.001>
- Kok, L. M., Vliet Vlieland, T. P. M., Fiocco, M., & Nelissen, R. G. H. H. (2013). A comparative study on the prevalence of musculoskeletal complaints among musicians and non-musicians. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 14, 9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-9>

- Kok, L. M., Huisstede, B. M. A., Voorn, V. M., Schoones, J. W., & Nelissen, R. G. (2016). The occurrence of musculoskeletal complaints among professional musicians: A systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89(3), 373–396. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1090-6>
- Leman, M. (2008). *Embodied music cognition and mediation technology*. MIT Press.
- Lynham, S. A. (2002). The general method of theory-building research in applied disciplines. *Advances in Developing Human Resources*, 4(3), 221–241. <https://doi.org/10.1177/1523422302043002>
- Mehling, W. E., Price, C., Daubenmier, J., Acree, M., Bartmess, E., & Stewart, A. (2012). The Multidimensional Assessment of Interoceptive Awareness (MAIA). *PLOS ONE*, 7(11), e48230. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048230>
- Moreno, A. M. (2026). Using Body Mapping to Inform Postural Guidance in Voice Pedagogy: A Review of Literature. *Update: Applications of Research in Music Education*, 44(3), 68–73. <https://doi.org/10.1177/87551233251370301>
- Museck, I. J., Brinton, D. L., & Dean, J. C. (2024). The use of wearable sensors and machine learning methods to estimate biomechanical characteristics during standing posture or locomotion: A systematic review. *Sensors*, 24(22), 7280. <https://doi.org/10.3390/s24227280>
- Nie, Q., Zhang, J., Peng, J., & Chen, X. (2023). Daily micro-break activities and workplace well-being: A recovery perspective. *Current Psychology*, 42, 9972–9985. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02300-7>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Papi, E., Murtagh, G. M., & McGregor, A. H. (2016). Wearable technologies in osteoarthritis: A qualitative study of clinicians' preferences. *BMJ Open*, 6(1), Article e009544. doi: 10.1136/bmjopen-2015-009544
- Picerno, P. (2017). 25 years of lower limb joint kinematics by using inertial and magnetic sensors: A review of methodological approaches. *Gait & Posture*, 51, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.11.008>

- Renggli, D., Graf, C., Tachatos, N., Singh, N., Meboldt, M., Taylor, W. R., Stieglitz, L., & Schmid Daners, M. (2020). Wearable inertial measurement units for assessing gait in real-world environments. *Frontiers in Physiology*, 11, Article 90. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00090>
- Rickert, D. L., Barrett, M. S., & Ackermann, B. J. (2014). Injury and the orchestral environment: part II. Organisational culture, behavioural norms, and attitudes to injury. *Medical Problems of Performing Artists*, 29(2), 94–101. <https://doi.org/10.21091/mppa.2014.2020>
- Rhodes, C., Allmendinger, R., & Climent, R. (2019). New interfaces for classifying performance gestures in music. In H. Yin, D. Camacho, P. Tino, A. J. Tallón-Ballesteros, R. Menezes, & R. Allmendinger (Eds.), *Intelligent data engineering and automated learning – IDEAL 2019* (pp. 31–42). Springer.
- Rotter, G., Noeres, K., Fernholz, I., Willich, S. N., Schmidt, A., & Berghöfer, A. (2020). Musculoskeletal disorders and complaints in professional musicians: a systematic review of prevalence, risk factors, and clinical treatment effects. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 93(2), 149–187. <https://doi.org/10.1007/s00420-019-01467-8>
- Schleip, R. (2003). Fascial plasticity – A new neurobiological explanation: Part 1. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*, 7, 11-19. [https://doi.org/10.1016/S1360-8592\(02\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S1360-8592(02)00067-0)
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Spahn, C., Strukely, S., & Lehmann, A. (2004). Health conditions, attitudes toward study, and attitudes toward health at the beginning of university study: Music students in comparison with other student populations. *Medical Problems of Performing Artists*, 19(1), 26–33. <https://doi.org/10.21091/mppa.2004.1005>
- Steinmetz, A., Seidel, W., & Muche, B. (2010). Impairment of postural stabilization systems in musicians with playing-related musculoskeletal disorders. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 33(8), 603–611. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2010.08.006>
- Valentine, E. R., Fitzgerald, D. F., Gorton, T. L., Hudson, J. A., & Symonds, E. R. (1995). The effect of lessons in the Alexander Technique on music

- performance in high and low stress situations. *Psychology of Music*, 23(2), 129–141. <https://doi.org/10.1177/0305735695232002>
- World Health Organization (WHO). (2020). *Global report on preventing musculoskeletal conditions*. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- Yang, C. C., & Hsu, Y. L. (2010). A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. *Sensors*, 10(8), 7772–7788. <https://doi.org/10.3390/s100807772>
- Zacher, H., Brailsford, H., & Parker, S. K. (2016). Micro-breaks matter: A diary study on the effects of breaks on wellbeing and performance. *Journal of Vocational Behavior*, 92, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2015.11.013>
- Zaza, C. (1998). Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: A systematic review of incidence and prevalence. *Canadian Medical Association Journal*, 158(8), 1019–1025.

## EXTENDED ABSTRACT

### Purpose

Musicians frequently experience performance-related musculoskeletal disorders (PRMDs) due to repetitive motor activity, asymmetric posture, and excessive practice intensity. Despite decades of pedagogical and medical research, most preventive strategies in music education remain fragmented, addressing either physical conditioning or cognitive regulation without a unified framework. This theoretical-conceptual study aims to develop the Somatic-Digital Hybrid Micro-Break Model (SDHMM), an interdisciplinary model combining fascia-based somatic education, digital health technologies, and micro-break pedagogy to enhance musicians' health and performance sustainability. The SDHMM seeks to translate physiological data into embodied awareness and learning feedback, offering a systematic approach for early risk detection, neurophysiological recovery, and holistic performance optimization.

### Method

Rather than conducting experimental fieldwork, this study employed a conceptual synthesis and thematic integration approach based on Lynham's (2002) theory-building framework. A structured, non-systematic literature search was

conducted using Web of Science, Scopus, PubMed, and Google Scholar, focusing on studies published between 2000 and 2026. Earlier seminal studies considered essential to the theoretical and methodological foundations of the model were also included. Searches used the keywords “musicians’ health,” “performance-related musculoskeletal disorders (PRMDs),” “microbreaks,” “somatic education,” “Alexander Technique,” “Feldenkrais,” “fascia awareness,” “wearable technology,” “IMU sensors,” and “surface EMG.” Studies were included when they directly addressed musicians’ health and PRMDs, microbreaks, somatic education, or wearable/digital health technologies and provided theoretical or empirical support for at least one physiological, pedagogical, or technological component of the proposed model. Irrelevant, duplicate, or conceptually non-contributory publications were excluded. Following title, abstract, and full-text evaluation, 39 studies published between 2000 and 2026 were included in the conceptual synthesis, alongside three seminal pre-2000 studies.

The selected evidence was examined through thematic content analysis and organized into four domains: musicians’ health and PRMDs; digital health technologies for objective measurement and personalized feedback; micro-breaks for neurophysiological and biomechanical recovery; and somatic education focusing on fascia, interoception, and neuromuscular balance. Findings from prior empirical and conceptual research, including IMU- and EMG-based assessments and interoceptive approaches, were conceptually synthesized rather than statistically pooled. The themes were subsequently integrated into the Somatic-Digital Hybrid Micro-Break Model, a five-layer conceptual framework linking individualized monitoring, somatic micro-break interventions, and feedback processes within music education.

## **Findings**

The extended analysis revealed through the integration of these four interrelated thematic pillars that collectively define the SDHMM:

### **Musicians’ Health and PRMD Risk Dynamics:**

This layer conceptualizes PRMD as a multifactorial condition shaped by biomechanical load, emotional stress, and habitual practice patterns. The literature highlights that preventive approaches must address both musculoskeletal and cognitive fatigue mechanisms.

### **Digital Health Technologies: Objective Monitoring and Personalized Feedback:**

Wearable sensors (IMU and EMG) and biofeedback applications allow continuous, real-time assessment of postural alignment, muscle tension, and physiological strain. The model proposes that objective sensor data should be coupled with subjective self-awareness reflections, enabling bidirectional feedback loops between the digital system and the musician's embodied perception.

### **Micro-Break Interventions for Neurophysiological and Biomechanical Renewal:**

Evidence from occupational psychology and somatic therapy shows that 1–3-minute micro-breaks can reduce fatigue, restore parasympathetic balance, and prevent overuse. The SDHMM defines micro-breaks as structured, short somatic sessions integrating fascial release, breath coherence, targeted tone reduction, and cognitive reset. These exercises serve as real-time, context-sensitive interventions triggered by digital feedback or bodily awareness cues.

### **Somatic Education, Fascia, and Interoceptive Regulation:**

The model integrates fascia science and interoceptive training to cultivate fine-grained bodily perception and self-correction. By embedding these principles into practice routines, musicians can regulate micro-tensions before they escalate into chronic dysfunction.

### **Integrating these four pillars, the five-layer SDHMM structure emerges as follows:**

**Input Layer:** Individual and task-related PRMD risk factors.

**Process Layer:** Dual monitoring of physical and perceptual states through digital feedback.

**Intervention Layer:** Implementation of somatic micro-breaks.

**Output Layer:** Development of a hybrid somatic-digital learning ecosystem.

**Outcome Layer:** Sustainable health, attention, and artistic performance.

### **Conclusion and Discussion**

The Somatic-Digital Hybrid Micro-Break Model serves as an interdisciplinary theoretical framework bridging the gap between human physiology, somatic pedagogy, and digital technology. The model redefines “break” not merely as inactivity but rather as a somatic recalibration period that transforms performance fatigue into learning insight. This approach challenges conventional music

pedagogy by integrating sensor-informed self-regulation with embodied practice awareness.

In educational contexts, the SDHMM offers an adaptable template for conservatories and individual studio teaching. It encourages instructors to integrate short somatic renewal sessions into daily rehearsal schedules, guided by real-time feedback from wearable technologies. Conceptually, the model emphasizes co-regulation between digital systems and human sensing, expanding the boundaries of both music education and occupational health research.

The findings suggest that the SDHMM could contribute to the reduction of PRMD incidence, the improvement of postural economy, and the enhancement of mental focus among musicians. Future empirical studies could validate this theoretical structure by implementing sensor-based monitoring in pedagogical settings and measuring its impact on fatigue markers, motor efficiency, and learning retention.

Ultimately, the SDHMM provides a preventive, evidence-informed, and scalable pedagogical tool that embodies the principle of holistic musicianship, uniting body, mind, and technology in a self-sustaining feedback ecosystem.

### **Çıkar Çatışması Bildirimi**

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanmasına ilişkin herhangi bir potansiyel çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Destek/Finansman Bilgileri**

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanması için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

### **Yapay Zekâ Kullanımı Bildirimi**

Bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlanması için herhangi bir yapay zekâ aracından faydalanılmamıştır.