

Yapay zekâ, yapay zekâ söyle bana: Keman eğitiminde yapay zekâ destekli geri bildirim entonasyona etkisine yönelik bir model çalışması

AI AI tell me: A model study on the effect of artificial intelligence-assisted feedback on intonation in violin education

Yakup Aksoy¹

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi, Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, Konya, Türkiye.

ÖZ

Grimm Kardeşler'in ünlü masalında sihirli ayna, "Ayna, ayna söyle bana..." sorusuna gerçeği yanıtlayarak kraliçeye karşı dürüst davranır. Benzer biçimde, bu çalışmada üretken yapay zekâ, keman öğrencilerinin entonasyon performanslarına ilişkin anlık ve nesnel geri bildirimler sunan bir "dijital ayna" işlevi görmüştür. Karma yöntem araştırma deseninin kullanıldığı bu çalışmanın amacı, üretken yapay zekâ destekli geri bildirim keman eğitiminde entonasyon becerisini geliştirmedeki etkisini, süreçte sunulan içeriklerin kapsamını ve öğrencilerin uygulamaya ilişkin deneyimlerini bütüncül olarak incelemektir. Çalışma grubu, 2024-2025 akademik yılında Türkiye'deki bir devlet üniversitesinin müzik eğitimi bölümüne kayıtlı 12 keman öğrencisinden oluşmuştur. Dört haftalık deneysel süreçte, öğrencilerin performansları Cubase yazılımında kaydedilmiş, frekans analizi yapılarak cent cinsinden entonasyon verileri elde edilmiştir. Bu veriler, öğretmen müdahalesi olmaksızın ChatGPT ve DeepSeek yapay zekâ sistemleri tarafından analiz edilerek değerlendirilmiş ve öğrencilere teknik ile müzikal boyutta öneriler sunulmuştur. Nicel veriler, Bağımlı Örnekler t-testi ile öntest–sontest puanları karşılaştırılarak analiz edilmiş; sonuçlar, sontest lehine istatistiksel olarak anlamlı bir fark ortaya koymuştur. Nitel veriler ise betimsel analiz yöntemiyle incelenmiş; öğrenciler, yapay zekânın sağladığı detaylı analizlerden, kişiselleştirilmiş çok boyutlu önerilerden ve motivasyon artırıcı yönlendirmelerden memnuniyet duyduklarını ifade etmiştir. Çalışma, müzik eğitimi bağlamında ve özellikle keman eğitiminde üretken yapay zekâ destekli geri bildirim entonasyon becerisi üzerindeki etkisine yönelik sınırlı sayıda çalışmaya deneysel ve nitel bulgular sunarak literatüre katkı sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, görsel ve işitsel geri bildirim unsurlarını entegre eden ve öğrencinin çalışma planını otomatik olarak uyarlayabilen sistemlerin geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: müzik eğitimi, keman eğitimi, entonasyon, bilgisayar destekli öğrenme, yapay zekâ, geri bildirim

ABSTRACT

In the famous fairy tale by the Brothers Grimm, the magic mirror responds truthfully to the question, "Mirror, mirror, tell me..." thus acting with honesty toward the queen. Similarly, in this study, generative artificial intelligence functioned as a "digital mirror" by providing instant and objective feedback on violin students' intonation performance. The aim of this study, which employed a mixed-methods research design, was to comprehensively examine the effect of generative AI-assisted feedback on the development of intonation skills in violin education, the scope of the content delivered during the process, and students' experiences with the application. The study group consisted of 12 violin students enrolled in the Department of Music Education at a state university in Türkiye during the 2024–2025 academic year. Over a four-week experimental process, students' performances were recorded using Cubase software, and intonation data in cents were obtained through frequency analysis. These data were analyzed and evaluated by the ChatGPT and DeepSeek AI systems (without teacher intervention), which then provided students with both technical and musical recommendations.

Yakup Aksoy — yaksoy@erbakan.edu.tr

Geliş tarihi/Received: 24.02.2026 — Kabul tarihi/Accepted: 26.03.2026 — Yayın tarihi/Published: 04.05.2026

Telif hakkı © 2026 Yazar(lar). Açık erişimli bu makale, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda veya formatta sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren Creative Commons Attribution License (CC BY) altında dağıtılmıştır.

Copyright © 2026 The Author(s). This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is properly cited.

Quantitative data were analyzed by comparing pre-test and post-test scores using the paired-samples t-test. The results revealed a statistically significant difference in favor of the post-test. Qualitative data were examined through descriptive analysis, and students reported satisfaction with the detailed analyses, personalized multi-dimensional recommendations, and motivational guidance provided by the AI. This study contributes to the limited body of research on the effect of generative AI-assisted feedback on intonation skills in the context of music education, particularly violin instruction, by presenting both experimental and qualitative findings. Future studies are recommended to develop systems that integrate visual and auditory feedback elements and can automatically adapt students' practice plans.

Keywords: music education, violin education, intonation, computer-based learning, artificial intelligence, feedback

1. GİRİŞ

Kısa sürede eğitsel uygulama ve araştırmaların odağı hâline gelen üretken yapay zekâ (GenAI), büyük veriyi işleme kapasitesiyle modern çağın dönüştürücü teknolojilerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Ghaeimi, vd., 2025; Tili vd., 2023). OECD (2021) raporuna göre yapay zekâ; öğretimi kişiselleştirme, değerlendirmeyi öğrenmeye entegre etme ve paydaşlara veri temelli destek sunma potansiyeliyle eğitim sistemlerinde dönüşüm yaratmaktadır. Bu dönüşümün, ustalık aktarımı ve bireysel performansın merkezde olduğu müzik eğitiminde nasıl bir pedagojik etki oluşturacağı önemli bir araştırma sorusudur.

Müzik eğitimi; bilişsel, duyuşsal ve psikomotor boyutları birlikte geliştirmeyi amaçlayan, yaratıcılık ve problem çözmeyi içeren çok katmanlı bir disiplindir (Gün, vd., 2016; Wei vd., 2022). Bu nedenle, yapay zekâ dâhil bilgisayar tabanlı sistemlerin özellikle psikomotor becerilerde sınırlı kalabileceği ileri sürülmektedir. Buna karşın Merchán Sánchez-Jara, vd. (2024), yapay zekâ entegrasyonunun daha kişiselleştirilmiş ve etkileşimli öğrenme deneyimleri sunduğunu belirtmektedir. Zhou ve Kim (2024) ise ChatGPT-4'ün içerik, organizasyon ve dil gibi çoklu boyutlarda değerlendirme yapabildiğini göstermiş, ancak müziksel gelişime katkısına ilişkin literatürde önemli bir boşluk bulunduğunu vurgulamıştır. Bu boşluk, özellikle çalgı eğitiminde entonasyon gibi temel becerilere yönelik yapay zekâ destekli çalışmaların sınırlı olmasıyla daha belirgin hâle gelmektedir.

Yapay zekâ, çevresinden veri toplayarak öğrenen ve bu bilgiyi görev performansında kullanan sistemleri ifade eder (Haenlein ve Kaplan, 2019). Bu teknolojinin bir alt alanı olan üretken yapay zekâ (GenAI) ise ChatGPT, Gemini, Copilot ve Deepseek gibi insan benzeri yanıtlar üretebilen modellerle temsil edilmektedir (Ursavaş vd., 2025). Bu sistemler; öğrenci performans verilerini analiz ederek öğretmene pedagojik kararlarında destek sunabilir (Holmes vd., 2019), öğrenme çıktıları ve öğretim süreçlerini geliştirme potansiyeli taşır (Moradi, 2025) ve bilişsel-duyuşsal destek sağlayarak erişilebilir öğrenme ortamları oluşturabilir (Lee ve Moore, 2024).

Kuramsal olarak yapay zekâ destekli geri bildirim sistemleri, kişiselleştirilmiş ve farklılaştırılmış öğrenmeyi destekleyen hibrit bir pedagojik zeminde konumlanmaktadır. Nitekim yapay zekânın; aktif, probleme dayalı, proje tabanlı, öz yönlendirmeli ve öz düzenlemeli öğrenme süreçlerine katkı sağlayabileceği belirtilmektedir (Altun, 2024). Bu çerçevede üretken yapay zekâ sistemleri, öğrencinin performansına ilişkin anlık ve nesnel geri bildirim sunarak bilişsel izleme ve strateji geliştirme süreçlerini destekleyen dijital araçlar olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, öğrenciler arasında GenAI kullanımının yarar ve risklerine ilişkin daha fazla ampirik veriye ihtiyaç vardır (Abbas vd., 2024). Özellikle müzik eğitiminde yeni öğretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve bu yöntemlerin motivasyon, bilişsel yük ve öz düzenleme üzerindeki etkilerinin incelenmesi gerekmektedir (Lv, 2023).

Yapay zekâ ile müzik arasındaki ilişki yeni değildir. Roads'a (1980) göre bu ilişki, MÖ 3. yüzyıldaki mekanik otomatlara kadar uzanmaktadır. Günümüzde ise yapay zekâ; kompozisyon, prodüksiyon, öneri sistemleri, müzik terapisi ve eğitim gibi birçok alanda dönüştürücü bir rol üstlenmektedir (Yavuz, vd., 2025). Yu ve diğerleri (2023), yapay zekânın müzik eğitiminde çok katmanlı bir dönüşüm yaratarak temel eğilimlerden biri hâline geldiğini belirtmektedir. Li ve Wang (2023), yapay zekâ destekli sohbet robotlarının piyano eğitiminde öğrenci performansını artırdığını; Sanganerla ve Gala (2024) ise otomatik akor tanıma ve transkripsiyon sistemlerinin kişiselleştirilmiş egzersizler üretmeyi mümkün kıldığını göstermiştir. Zhou ve Kim (2024), ChatGPT-4 destekli sistemlerin performansı artırırken öğrencilerde rahatlık ve huzur algısı oluşturduğunu ortaya koymuştur. Merchán Sánchez-Jara vd. (2024) ise yapay zekânın müzik eğitime entegrasyonunun daha kişiselleştirilmiş, etkileşimli ve verimli öğrenme deneyimleri sunduğunu doğrulamaktadır.

Bu bağlamda, müzik performansının değerlendirilmesi ve geri bildirim süreçlerinin geliştirilmesi yapay zekâ araştırmalarının önemli bir odak alanıdır. Keman eğitimi özelinde bu odak, entonasyon becerisi etrafında yoğunlaşmaktadır. Entonasyon, en genel anlamıyla "ses yüksekliğinin doğru olması"dır (Say, 2009). Belirli bir müzikal bağlamda doğru perdeyi üretme yetisi olan entonasyon, yaylı çalgılar için sürekli bir zorluktur (Chen

vd., 2008). Spohr (1843) entonasyonu eşit tampereman sistemiyle ilişkilendirirken, Morrison ve Fyk (2002) ses ayrımı ve eşleme becerilerine vurgu yapmaktadır. Nunez (2002) ise doğru entonasyonu hedef perdeden sapma olmaksızın üretim olarak tanımlar. Entonasyon gelişimini etkileyen başlıca faktörler; işitsel algı, motor koordinasyon, postür, parmak pozisyonları ve akort uygulamalarıdır (Akdeniz, 2023).

Perdelerin bulunmaması, klavye üzerindeki aralıkların eşit olmaması ve çalgının fiziksel özellikleri keman entonasyon açısından hassas bir enstrüman hâline getirmektedir (Chen, vd., 2008; Flesch, 2000). Doğru entonasyon, deneyimli sanatçılar için bile zorlayıcı olabilir (Geringer vd., 2015). Öğrenciler entonasyon hatalarını çoğu zaman kendi başlarına fark edememekte (Li, 2023) ve ders sırasında öğretmenin "tiz bas/pes bas" şeklindeki sözlü geri bildirimlerine bağımlı kalmaktadır (Angı, 2013). Haftada bir ders modeli göz önüne alındığında, öğrencilerin ders dışı çalışma süreçlerinde anlık ve nesnel geri bildirim sağlayacak sistemlere ihtiyaç duydukları açıktır (Pardue ve McPherson, 2019; Yin vd., 2005).

Literatürde entonasyon eğitime yönelik yaklaşımlar farklı kuramsal temellere dayanmaktadır. Sözel geri bildirim, drone ve tekrar temelli uygulamalar davranışçı yaklaşımla ilişkilendirilirken (Özcan, 2017; Sökezoğlu Atılğan ve Tazegül, 2024; Taş, 2020; Zabanal, 2020), gerçek zamanlı işitsel-görsel geri bildirim sistemleri yapılandırmacı çerçevede ele alınmaktadır (Pardue ve McPherson, 2019; Aksoy, 2023; Knotts, 2018). Akran öğretimi sosyal yapılandırmacılıkla (Fernández-Barros vd., 2023), mobil uygulamalar ve oyunlaştırma ise öz-düzenleyici öğrenme yaklaşımlarıyla ilişkilendirilmektedir (Aykut ve Taş, 2023; Liu, 2025). Öğretmen rehberliğinde yürütülen yapılandırılmış öğretim programları ise bilişsel kuram ve sistematik öğretim tasarımı ilkeleriyle açıklanmaktadır (Kalender ve Akgül Barış, 2022). Bu kuramsal çeşitlilik, entonasyon eğitiminin yalnızca teknik bir beceri değil, çok boyutlu bir öğrenme süreci olduğunu göstermektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, üretken yapay zekâ tabanlı büyük dil modeli sistemleri olan ChatGPT ve DeepSeek'in keman eğitiminde sıkça karşılaşılan entonasyon problemlerine yönelik sunduğu geri bildirim türlerini incelemek; bu geri bildirimlerin öğrencilerin entonasyon performansına etkisini nicel verilerle ortaya koymak ve öğrencilerin söz konusu sistemlere ilişkin deneyimlerini nitel verilerle kapsamlı biçimde değerlendirmektir.

1.2. Araştırmanın Önemi

Yükseköğretimde çevrimiçi ve karma öğrenme ortamları esnek ve kişiselleştirilmiş fırsatlar sunmaktadır (Müller ve Mildenerger, 2021). Ancak müzik eğitiminde, özellikle çalgı performansına yönelik yapay zekâ destekli geri bildirim sistemlerinin pedagojik etkilerine ilişkin ampirik çalışmalar sınırlıdır (Zhou ve Kim, 2024). Üretken yapay zekânın genel eğitim çıktıları üzerindeki etkileri incelenmiş olsa da, keman eğitiminde entonasyon gibi temel bir beceriye odaklanan bütüncül çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Bu çalışma, yapay zekâ destekli geri bildirim entonasyon performansına etkisini ve öğrenci deneyimlerini inceleyerek bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

1.3. Araştırma Problemi

Araştırmanın problem cümlesi "Üretken yapay zekâ destekli geri bildirim modelinin keman öğrencilerinin entonasyon becerileri üzerindeki etkisi nedir?" şeklinde oluşturulmuş olup çalışmada aşağıdaki alt problemlere cevap aranmıştır?

1.4. Alt Problemler

Üretken yapay zekâ destekli geri bildirim modeli, öğrencilerin keman çalgısındaki entonasyon becerilerine ilişkin öntest-sontest puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yaratmış mıdır?

ChatGPT ve DeepSeek gibi üretken yapay zekâ sistemleri, öğrenci performanslarına yönelik ne tür geri bildirimler sunmaktadır?

Öğrenciler, yapay zekâ destekli geri bildirimlere ilişkin nasıl deneyimler yaşamış ve bu geri bildirimleri nasıl değerlendirmiştir?

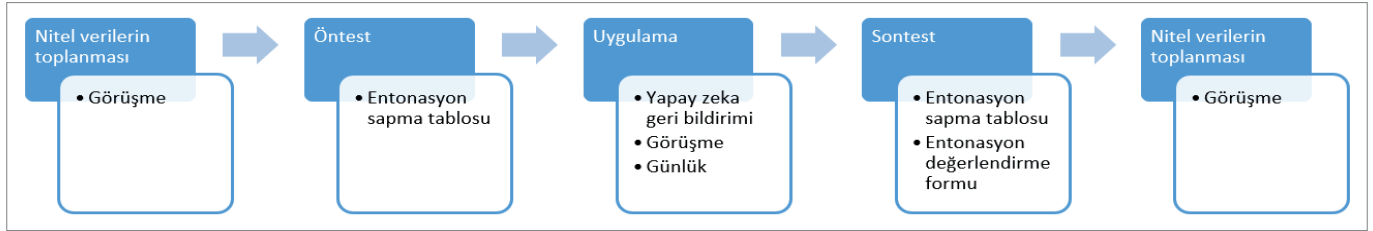
2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Modeli

Bu araştırma, karma yöntem araştırma desenlerinden iç içe desen kullanılarak yürütülmüştür (Creswell ve Plano Clark, 2015). Çalışmada nicel yöntem temel desen olarak belirlenmiş; nitel veriler nicel süreci desteklemek, derinleştirmek ve yorumlamak amacıyla sürece entegre edilmiştir. Araştırmanın nicel boyutunda tek gruplu öntest–sontest yarı deneysel desen kullanılmıştır (Büyüköztürk vd., 2013). Nitel boyut ise, yapay zekâ sistemlerinin sunduğu geri bildirim içeriklerinin incelenmesi ve öğrencilerin bu sürece ilişkin deneyimlerinin ortaya konulması amacıyla tasarlanmıştır. Böylece araştırma, performans değişimini nicel olarak ölçerken, sürecin pedagojik ve deneysel boyutunu nitel verilerle açıklamayı hedeflemiştir. Araştırmada tasarımı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1

Araştırma tasarımı



Şekil 1'de görüldüğü gibi çalışmada ilk olarak, katılımcıların yapay zekâ sistemlerine ve kemande entonasyon konusuna yönelik nitel verileri toplanmış; ardından, deneysel sürece geçilerek nicel veriler elde edilmiştir. Deneysel sürecin farklı aşamalarında nitel veri toplama süreci tekrar edilmiştir. Bu yönüyle desen, nitel verilerin deneysel sürece öncülük ettiği, deney süreci içinde eş zamanlı olarak desteklendiği ve sonunda tekrar nitel verilerle tamamlandığı bir yapı göstermektedir.

2.2. Çalışma Grubu

Çalışma grubu, amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir (Merriam, 2018). Katılımcılar, 2024–2025 akademik yılında Türkiye'deki bir devlet üniversitesinde öğrenim gören, bireysel çalgısı keman olan müzik öğretmeni adaylarından oluşmaktadır. Yaşları 19–24 arasında değişen çalışma grubunda 9'u kadın, 3'ü erkek olmak üzere toplam 12 öğrenci yer almaktadır. Katılımcıların 10'u lisans (1.–4. sınıf), 2'si ise yüksek lisans ders aşamasındadır.

2.3. Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri çeşitliliği sağlamak amacıyla çoklu veri kaynaklarına başvurulmuştur. Nicel veriler; entonasyon sapma tablosu ve entonasyon değerlendirme formu ile nitel veriler ise; yapay zekâ sistemlerinin geri bildirim formu, katılımcı günlükleri ve katılımcı görüşleri aracılığıyla toplanmıştır.

2.3.1. Entonasyon sapma tablosu

Çalışmanın nicel boyutunda birinci aşamada katılımcıların kemandaki entonasyon doğruluğunu tespit etmek amacıyla, araştırmacı tarafından uzman görüşleri alınarak Entonasyon Sapma Tablosu oluşturulmuştur. Tablonun kısmi görünümü Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Entonasyon sapma tablosu

Nota	1. ders		4. ders	
	Öntest	Sontest	Öntest	Sontest
	(cent)			
C4	+28	+14	+14	-2
E4	-50	+40	-25	+10
"	"	"	"	"

Tablo 1'de görüldüğü gibi çalışma kapsamında verilen etütte yer alan 44 hedef nota için entonasyon doğruluğunu analiz etmek amacıyla cent cinsinden sapma değerlerini içeren bir ölçüm çizelgesi hazırlanmıştır. Bu çizelge üzerinde, her bir nota için icra edilen sesin referans nota ile karşılaştırıldığında ne kadar sapma gösterdiği \pm cent olarak kaydedilmiştir. (örneğin: E4 = -50 cent).

2.3.2. Entonasyon değerlendirme formu

Form deneysel sürecin sonunda entonasyon sapma tablosundan elde edilen ölçüm verilerinin kategorik puanlara aktarımı amacıyla 7'li likert tipinde hazırlanmıştır. Formdan bir kesit aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

Entonasyon değerlendirme formu

No	Kazanım	Çok iyi	İyi	Biraz iyi	Orta	Biraz Kötü	Kötü	Çok Kötü
		(0-5)	(6-10)	(11-15)	(16-20)	(21-25)	(26-30)	(31-...)
		7	6	5	4	3	2	1
1	C4 sesini doğru basar							
2	E4 sesini doğru basar							
3	"	"	"	"	"	"	"	"

Tablo 2'de bir kısmı görünen formda çalışmanın uygulama süreci bölümünde görseli verilen Etüt'te yer alan 44 nota kazanım olarak yer almıştır. Notalar Loeffler'in (2006) araştırma sonucu referans alınarak 0-5 cent aralığında 7'li Likert tipinde kategorilendirilmiştir. Yazar yaptığı çalışma sonucunda insan kulağının beş ya da altı centlik bir farkı ayırt edebileceğini ortaya koymuştur. Yazarı destekler biçimde Spiegel ve Watson'da (1984) müzisyenlerin, yaklaşık $\pm 2-8$ cent aralığında entonasyon farklarını ayırt edebildiği sonucun ulaşmıştır. Bu kategorilendirme yapılırken yine kapsam ve yapı geçerliliği açısından biri keman ve biri de işitme eğitimcisi olmak üzere müzik eğitimi alanında iki öğretim üyesinin uzman görüşüne başvurulmuştur. Tabloda görüldüğü gibi doğru perdeye olan 0-5 centlik uzaklık "çok iyi", 6-10 centlik uzaklık "iyi", 11-15 centlik uzaklık "biraz iyi" 16-20 centlik uzaklık "orta", 21-25 centlik uzaklık "biraz kötü", 26-30 "kötü" ve 31 ve üzeri centlik uzaklık "çok kötü" olarak derecelendirilmiştir. 44 maddenin yer aldığı Entonasyon Değerlendirme Formu'nun güvenilirliği, Cronbach Alpha katsayısı ile test edilmiş ve $\alpha = 0.892$ olarak bulunmuştur. Bu değer, yüksek iç tutarlılığa işaret etmekte olup, Gliem ve Gliem (2003) tarafından belirtildiği üzere 0.80 üzeri değerler "iyi", 0.90'a yakın değerler ise "mükemmel" düzeyde güvenilirlik göstermektedir.

2.3.3. Günlük

Araştırma sürecinde katılımcıların günlük tutmaları, bireysel gözlem, duygu ve deneyimlere ulaşmada yararlı bir yöntem olduğundan (Yıldırım ve Şimşek, 2008), öğrencilerden deneysel sürece ilişkin duygu ve düşüncelerini yansıtan günlükler tutmaları istenmiştir.

2.3.4. Görüşme formu

Araştırmada nitel verilerin bir bölümü de üç açık uçlu sorudan oluşan yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Formdaki ilk iki soru deneysel çalışma öncesinde öğrencilerin yapay zekâ sistemlerinin keman eğitimine ve entonasyona olası etkilerine yönelik düşüncelerini keşfetmek için oluşturulmuştur. Sorular şu şekildedir.

1. Yapay zekâ sistemleri keman eğitimine ne tür katkılar sunabilir?
2. Yapay zekâ sistemleri kemandaki entonasyon problemlerin çözümüne yönelik ne tür katkılar sunabilir?

Aşağıdaki üçüncü soru ise deneysel çalışma sonrası öğrencilerin deneyimlerini belirlemek, çalışmaya derinlik katmak amacıyla oluşturulmuştur.

3. Keman eğitiminde entonasyon problemlerini çözmeye yönelik deneyimlediğiniz yapay zeka destekli geri bildirim modeli hakkında duygu ve düşünceleriniz nelerdir?

Formun oluşturulması aşamasında kapsam geçerliliği için iki müzik eğitimcisi öğretim üyesinin ve bir Türkçe öğretmenin görüşlerinden yararlanılmıştır.

2.3.5. Yapay zekâ sistemleri geri bildirim formu

Yapay zekâ sistemlerinin öğrencilerin deneysel süreci boyunca verdiği geri bildirimlerin neleri içerdiğini belirlemek için bir soruluk bir form oluşturulmuştur. Bu formda yer alan, "Deepseek ve ChatGPT gibi yapay zekâ sistemleri, öğrencilerin kemandaki entonasyon performanslarına yönelik ne tür geri bildirimler sunmaktadır?" sorusu yer almaktadır.

2.4. Verilerin Toplanması

Çalışmanın verileri 2024-2025 Akademik yılında 4 haftalık bir süreçte toplanmıştır. Çalışmanın

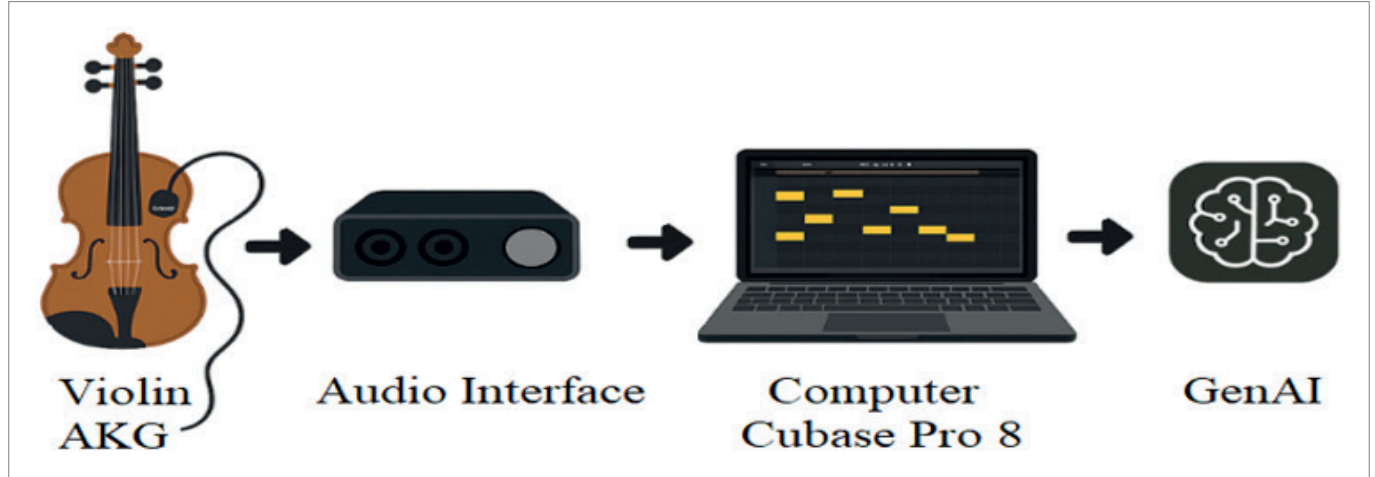
nicel boyutundaki veriler entonasyon sapma tablosu ve entonasyon değerlendirme formu ile nitel boyundaki veriler ise günlükler, yarı yapılandırılmış görüşme formu ve yapay zekâ sistemleri geri bildirim ile toplanmıştır. Çalışmanın nitel boyutunda öğrencilerden toplam 12 günlük toplanmıştır. Uygulama sürecinin hem başında hem de sonunda ise öğrenciler ile yüz yüze yarı yapılandırılmış görüşme gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmeler her bir öğrenci ile yaklaşık 25 dakika sürmüştür. Ayrıca her dersin sonunda yapay zekâ sistemlerinin öğrencilere sunduğu geri bildirimler toplanmıştır. Katılımın gönüllülük esasına dayandığı çalışmada veri toplama öncesinde Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu'na başvurulmuş ve ilgili kurul tarafından araştırmaya 2025/350 Karar No'lu belge ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

2.5. Uygulama Süreci

Araştırma süreci, dört hafta boyunca haftada bir ders (45 dakika) ve bireysel derslerle sürmüştür. Her ders katılımcıların bireysel keman performansları Cubase Pro 8 yazılımı aracılığıyla kaydedilerek VariAudio modülü aracılığıyla entonasyon verileri sent (cent) cinsinden elde edilmiştir. Cubase VariAudio, tek ses ve tek çalgıda perde ölçümünde yüksek bir başarı oranına (%96) sahiptir (Canyakan, 2013). Ses kayıtları, araştırmacının üniversitedeki bireysel çalışma odasında gerçekleştirilmiştir. Veri toplama sürecindeki kullanılan teknik ekipmanlar ve aşamalar Şekil 2'de görüldüğü gibi; AKG C411 condenser enstrüman mikrofonu, RME Babyface Pro ses kartı, Masaüstü bilgisayar, Cubase Pro8 yazılımı şeklindedir.

Şekil 2

Aşamalar ve kullanılan teknik ekipmanlar



Uygulamada repertuar olarak araştırmacı tarafından bir keman eğitimcisinin bir de işitme eğitimcisinin görüşü alınarak oluşturulan Şekil 3'teki Entonasyon Etütü kullanılmıştır. 46 notanın yer aldığı etütte boş tel olan iki sol notası değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Etütte yer alan notalar birinci pozisyondaki tüm kromatik sesleri içermektedir. Uygulama sonunda 2208 nota verisi toplanmıştır. Entonasyona dair keskin sonuçlar almamızı engellediği için performans esnasında öğrencilerden vibrato yapmamaları istenmiştir (Yang vd., 2016). Uygulama esnasında etüt 40 bpm tempoda seslendirilmiştir.

Şekil 3

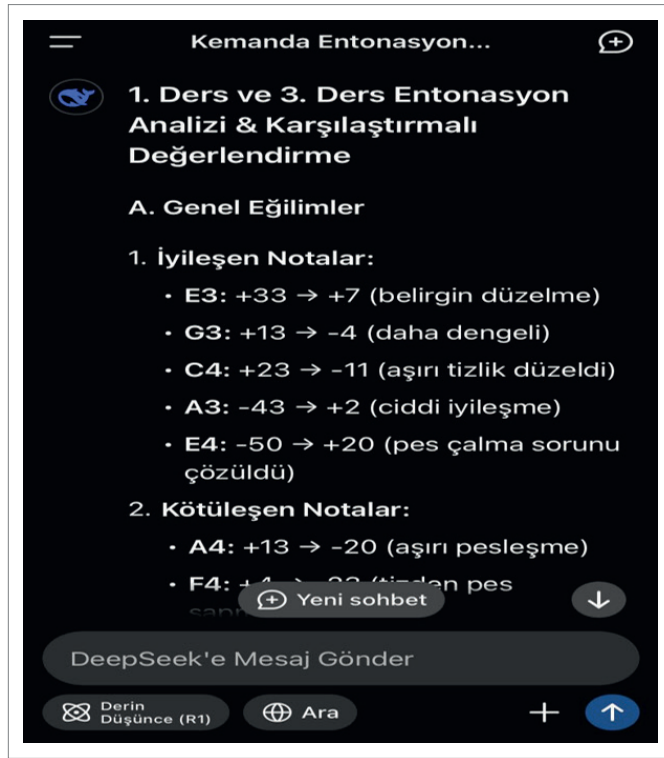
Entonasyon etütü



Elde edilen entonasyon analizleri, ikili kontrol sağlanması amacıyla entonasyon sapma tablosu'na araştırmacı/öğretmen ve öğrenci tarafından manuel olarak girilmiştir. Tablo üretken yapay zekâ temelli iki farklı sistem olan ChatGPT-4o ve Deepseek-V3 modellerine öğrencilerin kendi kişisel akıllı telefonları ve hesapları aracılığıyla görsel olarak sunulmuştur. Daha sonra modellere şu prompt girilmiştir: "Ben bir keman öğrencisiyim. Sana cent cinsinden gönderdiğim test sonuçlarını analiz ederek/karşılaştırarak bir öğretmen gibi değerlendirmede/önerilerde bulunur musun?" Modeller tarafından yazılı olarak her öğrenciye özel geri bildirim metinleri oluşturulmuştur. Bu metinler, teknik analiz verilerine dayalı olarak hem düzeltici öneriler hem de uygulamaya yönelik çalışma yönlendirmeleri içermektedir. Katılımcılar, her hafta kendilerine iletilen yapay zekâ destekli geri bildirimleri inceleyerek bu doğrultuda bireysel pratiklerini planlamıştır. Öğretmen tarafından öğrencilerin entonasyonlarına yönelik herhangi bir geri bildirimde kesinlikle bulunulmamıştır. Süreç boyunca öğrencilerden haftalık yapılandırılmış çalışma günlükleri tutmaları istenmiş, dört haftalık uygulamanın başında ve sonunda yarı yapılandırılmış bireysel görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yapay zekâ sistemlerinin öğrencilere sunduğu geri bildirimler (Şekil 4 ve Şekil 5) öğrencilerden talep edilerek toplanmış ve nitel veri setine dahil edilmiştir.

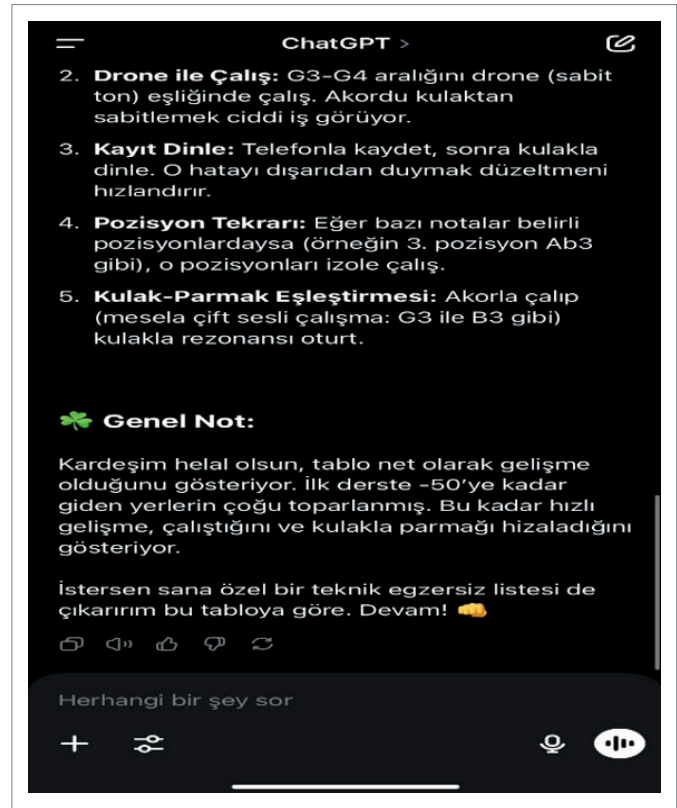
Şekil 4

K9'A Deepseek tarafından sunulan geri bildirimden bir kesit



Şekil 5

K3'E ChatCPT tarafından sunulan geri bildirmeden bir kesit



2.6. Verilerin Analizi

Çalışmanın nicel boyutunda Entonasyon Değerlendirme Formu'ndan elde edilen verilerin

normal dağılıma uygunluğunu belirlemek amacıyla örneklem sayısının 50'den küçük olduğu durumlarda tercih edilen Shapiro-Wilks testi uygulanmıştır. Test sonuçları, her iki ölçüm için de p değerlerinin .05 anlamlılık düzeyinden büyük olduğunu göstermiştir (Öntest: $p = .545$; Sontest: $p = .805$). Bu sonuçlar, verilerin normal dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. Buna bağlı olarak, iki ölçüm arasındaki farkı belirlemek amacıyla parametrik test kullanılması uygun görülmüştür. Bu nedenle nicel verilerin analizi için parametrik test tekniklerinden t-testi kullanılmıştır (Büyüköztürk, vd., 2013). Araştırmada elde edilen nitel verilerin analizinde betimsel analiz tekniği kullanılmıştır. Bu doğrultuda çalışmada, birbirine benzeyen veri ve kavramlar, daha önceden oluşturulan kategoriler çerçevesinde sınıflandırılarak kodlanmıştır (Creswell ve Clark, 2015). Kodlama sürecinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla nitel alanda çalışmalarını bulunan bir öğretim üyesi ile birlikte çapraz kodlama yapılmıştır. Kodlayıcılar arası tutarlılığı değerlendirmek için Miles ve Huberman (1994) tarafından önerilen formül kullanılmış ve uyum oranı 0,92 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, kodlama sürecinin yüksek düzeyde tutarlılıkla gerçekleştirildiğini göstermektedir. Analiz sonucunda elde edilen kodlar, ilgili alt temalar ve temalar altında gruplanarak sunulmuş; veriler bu tematik yapı doğrultusunda yorumlanmıştır. Ayrıca çalışmanın geçerliliğini ve güvenilirliğini sağlamak için nicel verilerin yanında, katılımcı görüşleri, katılımcı günlüğü ve yapay zekâ sistemlerinin geri bildirimleri gibi veri toplama araçları üçgenlenmiştir (Thurmond, 2001). Ayrıca öğrenci görüşlerinden, çalışma günlüklerinden ve yapay zekâ sistemlerinin sunduğu geri bildirimlerden doğrudan alıntılara sıkça yer verilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Yapay zekâ destekli geri bildirim entonasyon becerilerine etkisine ilişkin öntest-sontest karşılaştırması

Çalışmanın birinci alt problemine ilişkin bulgular Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Öntest (Deney öncesi) ile Son test (4. ders) arasında yapılan Bağımlı Örnekler t testi

Değişken	N	Ortalama	Standart Sapma	t testi değeri	p değeri
Ön test	12	144,75	25,48	-8,889	0,001*
Son test	12	207,33	22,33		

Tablo 3'te görüldüğü gibi araştırma kapsamında, öğrencilerin entonasyon performansında yapay zekâ destekli geri bildirim etkisini belirlemek amacıyla yapılan bağımlı örnekler t-testi sonucunda, öntest (deney öncesi) ve sontest (deney sonrası) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bir farklılık bulunmuştur ($p < .05$). Bu sonuç, yapay zekâ destekli geri bildirim, öğrencilerin keman entonasyon performansını geliştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

3.2. Deepseek ve ChatGPT gibi yapay zekâ sistemlerinin öğrenci performanslarına yönelik sunduğu geri bildirim türleri

Çalışmanın ikinci alt problemine ilişkin bulgular Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4

Geri bildirim içerikleri

Açıklayıcı geri bildirim	Tanımlayıcı geri bildirim	Öneriler	Sonuç
Teorik Bilgilendirme	Ön teste ilişkin değerlendirme <i>Pozitif sapmalar; negatif sapmalar; tutarsızlıklar; genel sapmalar; tekrarlanan notalar; pes eğilim; en problemli bölgeler</i>	Kemanın fiziksel yapısına yönelik geri bildirimler <i>Akort kontrolü; tel yaşı kontrolü; eşik ayarı kontrolü; can direği kontrolü; çalgının ısınması; tel seçimi; luthiyer tavsiyesi</i>	Genel değerlendirme
	Ön test Son test karşılaştırması <i>Genel sapmalar; İyileşen notalar; Kötüleşen notalar; Tutarsızlıklar; Hâlâ sorunlu olan notalar; Gelişim Oranları; Ortak Problemler</i>	Teknik Gelişime Yönelik Öneriler <i>Sol el bileği duruşu; sol el parmak yerleşimi; sol el parmak baskısı; sol el başparmak ve diğer parmakların pozisyonu; yay tutuşu, baskısı ve hızı; teller arası geçiş; öğretmenle çalışma</i>	Motive edici cümle ve emojiiler
		İşitsel farkındalık ve duyuş gelişimi <i>Kulak eğitimi; tuner ile çalışma; dron ile çalışma; harmoniklerle karşılaştırma; spectrum analizi; akor ve aralık çalışması; uzun ses çalışmaları; tiz çal sonra düzelt tekniği; yavaş çalışma; dinamik kontrolü-piano/forte geçişleri; vibratosuz çalışma; metronom ile çalışma</i>	Geleceğe yönelik beklenti tahmini
		Bilişsel-Fiziksel Hazırlık ve İçselleştirme <i>Sessiz çalışma; hayal etme ve mırıldanma; kayıt alma ve dinleme; parmak haritası; çalışma kağıdı üzerinde işaretleme; günlük çalışma rutini; fiziksel farkındalık/yorgunluk vb.</i>	Verileri görselleştirme önerisi
		Hedef odaklı repertuar önerisi <i>Gam çalışması; arpej çalışması; en hatalı seslere yönelik egzersiz; repertuar önerisi-etüt ve konçerto önerileri</i>	

Tablo 4'te görüldüğü üzere, yapay zekâ destekli sistemlerin (Deepseek ve ChatGPT) sunduğu geri bildirimler; açıklayıcı, tanımlayıcı, öneriler ve sonuç boyutlarında yapılandırılmış olup, öğrenci gelişimini çok yönlü olarak desteklemektedir.

Yapay zekâ sistemleri, "Cent, müzikte kullanılan ve bir oktavın 1/1200'üne karşılık gelen bir frekans oranı birimdir. Pozitif değerler notanın tiz, negatif değerler ise pes olduğunu gösterir" (K4) gibi açıklamalarla öğrencinin hatayı düzeltmenin yanı sıra anlamasını da desteklemiştir. Ön testte açıklayıcı bilgilere yer verilip öntest-sontest karşılaştırmalarında tekrar edilmemesi, sistemin gereksiz bilgi tekrarıdan kaçındığını göstermektedir. Tanımlayıcı geri bildirimler performans değişimini açık biçimde ortaya koymuştur. Örneğin K5 için "1. ders sonuçları çoğunlukla negatif... 3. ders sonuçları ise pozitif yönde artış göstermiş. Bu, genel olarak bir gelişim olduğunu gösteriyor" ifadesi gelişim izleme işlevini vurgulamaktadır. Benzer şekilde K2 için "Bb4: -50 → +11 (Aşırı düzelme, ancak bu sefer tiz)" ifadesi, sistemin mikro düzeyde analiz yapabildiğini ancak aşırı düzeltmelerin izlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Genel olarak yapay zekâ sistemlerinin öneri odaklı geri bildirimler açısından öğrencilere zengin bir içerik sunduğu görülmüştür. Çalgının fiziksel özelliklerine ilişkin öneriler; "Bu kadar büyük sapmalar bazen enstrüman ayarlarından (Can direği-Eşik ayarı) kaynaklanabilir... D4'teki aşırı pes sapma için daha dengeli bir D teli deneyin (ör. Pirastro Evah Pirazzi)" (K12), "Teliniz 3 aydan eskiyse değiştirin... gelişme olmazsa profesyonel bir lütieri danışın" (K6) ve "Boş tellerin doğru akortlandığından emin olun (ör. A4=440 Hz)" gibi ifadelerle sistemin problemi yalnızca öğrenciye değil, çalgının fiziksel yönüne de bağladığını göstermektedir. Geri bildirimler teknik gelişime yönelik somut yönlendirmeler içermektedir. "3. ve 4. parmakları güçlendirin...", "Bileği düz tutmaya çalışın" (K2) ve "Bemol parmakları %5 daha geri basın... yayı köprüye 2 cm yaklaştırın" (K6) gibi öneriler, sağ el, sol el ve postüre ilişkin ayrıntılı ve bireyselleştirilmiş çözümler sunmaktadır. Bunun yanında işitsel farkındalık ve içselleştirmeye yönelik öneriler de dikkat çekmektedir. "Açık teller veya sabit tınırlarla rezonans çalışmak kulağı geliştirir" (K11), "Yavaş tempoda uzun nota çalışmaları sapmayı düzeltir" (K8) ve "Sabit ton eşliğinde çalışmalar intonasyonu geliştirir" (K12) gibi ifadeler, sistemin işitsel gelişimi de öncelendiğini göstermektedir. K2'ye sunulan klavye üzerine bant yerleştirme önerisi ise destekleyici bir geçici çözüm sunmaktadır. Kayıt ve analiz odaklı öneriler "Problemlerini pasajları kaydedip dinleyin" (K5), teknolojik araç kullanımı "Tuner veya analiz yazılımı kullanın" (K10); "Metronomla çalışın" (K2) ve stratejik başlangıçlar "Çalışmaya 5 dakika sessiz egzersizle başlayın" (K6) bilişsel farkındalığı desteklemektedir. Ayrıca "Çalışmaları kısa seanslara bölün" (K8) ve "Haftalık sapma tablosu oluşturun" (K12) gibi öneriler, öz düzenleme ve gelişim takibini güçlendirmektedir. Yapay zekâ geri bildirimleri, mevcut durumu değerlendirmenin ötesinde hedef ve ilerleme projeksiyonları da sunmaktadır. K6'ya sunulan "15 gün sonra ±50 cent'ler ±20'ye düşecek..." öngörüsü buna örnektir. "Verileri öğretmeninizle paylaşın" (K5) önerisi sistemi destekleyici bir araç hâline getirirken, metot ve repertuar önerileri "Schradiack, Flesch, Kreutzer vb." (K1) rehberlik boyutunu güçlendirmektedir. Son olarak, geri bildirimler teknik değerlendirmenin yanı sıra motivasyonel ve görsel destek de içermektedir. "Kardeşim helal olsun... Devam 🙏" (K3) gibi ifadeler duygusal destek sağlarken, "Verileri grafikleştirilebilirim" (K7) önerisi öğrenme sürecini görselleştirmektedir.

3.3. Öğrencilerin yapay zekâ destekli geri bildirimlere ilişkin deneyimleri ve değerlendirmeleri

Çalışmanın üçüncü alt problemine yönelik katılımcı görüşü ve günlüklerden elde edilen bulgular "Keman eğitimine olası katkılar", "Entonasyona olası katkıları" ve "Yapay zeka tabanlı model hakkındaki görüş ve öneriler" şeklinde 3 kategoride incelenmiştir. Keman eğitimine olası katkılar kategorisi Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5

Keman eğitimine olası katkılar

Kategori	Tema	Alt tema	Kod	
Keman Eğitimine katkıları	Öğrenme Sürecini Destekleme	Fırsat Eşitliği Sunma	Dezavantajlı öğrencilere ulaşma	
		Bilgiye Erişim	Bireysel öğrenme sürecini destekleme	
		Fiziksel Sağlık Desteği	Müzik ve keman hakkında bilgi alma	
		Verimli Çalışma Önerileri	Bilek rahatlatıcı egzersizler sunma	
		Yönlendirme ve Rehberlik	Çalışma yöntemleri üzerine yönlendirme	
	Teknik ve Müzikal Geri Bildirim	Görsel Takip ve Anlık Yönlendirme	Yönlendirme ve Rehberlik	Öğrenme süreci hakkında bilgi verme
			Görsel Takip ve Anlık Yönlendirme	Kamera aracılığıyla postür kontrolü
			Görsel Takip ve Anlık Yönlendirme	Kamera aracılığıyla teknik kontrolü
			Görsel Takip ve Anlık Yönlendirme	Artikülasyon hakkında yorum değerlendirme yapma
	İçerik ve Materyal Üretimi	Ritim Destek	Ritim Destek	Ritimsel hataların farkındalığı
İşitsel Hazırlık ve Deşifre Kolaylığı			Çalma örnekleri ile gösterim	
Öğretim Materyali Üretimi		Öğretim Materyali Üretimi	Etüt ve alıştırmaya üretimi	
		Notaya Yönelik Destek Sağlama	Nota düzenleme ve sadeleştirme	
		Notaya Yönelik Destek Sağlama	Nota düzenleme ve sadeleştirme	

Tablo 5'e göre, yapay zekâ destekli modelin keman eğitimine katkısı üç tema altında incelenmiştir. Öğrenme sürecini destekleme temasında, K3 "Özellikle özel ders imkânı olmayan insanlar için... bir fırsat olabilir" diyerek sosyoekonomik engelleri azaltma potansiyeline dikkat çekmiştir. K10, öğretmene her zaman ulaşamayan öğrenciler için sistemin destekleyici olabileceğini belirtmiştir. Bilgiye erişim boyutunda K7 "Popüler şarkı notalarını isteyebilir" ve K9 "Keman eğitimiyle alakalı önemli noktaları sorabilir" ifadeleriyle hızlı bilgi erişimine vurgu yapmıştır. K3'ün "Bilekleri rahatlatıcı tavsiyeler verebilir" sözü ise sistemin fiziksel sağlığı da destekleyebileceğini göstermektedir. Teknik ve müzikal geri bildirim temasında öğrenciler, gelecekte yapay zekânın "Görsel Takip ve Anlık Yönlendirme", ritim desteği ve işitsel hazırlık gibi özellikler sunmasının yararlı olacağını belirtmiştir. K11, "Türk müziği... notaları bizim için transpoze eder" diyerek kültürel çeşitlilikteki potansiyeline, ayrıca "Parçaya bir ön hazırlık olması için yapay zeka onu bizim için çalabilir" ifadesiyle de deşifre sürecinde zaman kazandırıcı rolüne dikkat çekmiştir. İçerik ve materyal üretme temasında K2, "Bizim aklımıza gelmeyecek... etütler yazabilir" sözleriyle sistemin özgün içerik üretebilen yaratıcı bir eğitim partneri olarak görüldüğünü vurgulamıştır.

Tablo 6

Entonasyona olası katkılar

Kategori	Tema	Alt tema	Kod
Entonasyona katkıları	Ses Analizi ve Değerlendirme	Entonasyon Farkındalığı	Cent cinsinden ses sapmalarını görmek
		Entonasyon Farkındalığı	Parmak pozisyonu hatalarını fark etme
		Eğilimin belirlenmesi	Bemollü seslerde gelişim
		Puanlama ve değerlendirme	Sayısal puanlama beklentisi
	İçerik ve Materyal Üretimi	Öğretim Materyali Üretimi	Etüt ve alıştırmaya üretimi

Tablo 6'da görüldüğü üzere katılımcılar, yapay zekânın özellikle ses analizi ve kişiselleştirilmiş içerik üretimi ile entonasyon eğitimine katkı sunduğunu belirtmiştir. K1 günlüğünde, "Hangi frekanslarda hata yaptığımı daha net gördüm."; K4 günlüğünde, "Hangi sesi ne derece yanlış bastığımı görmek çok faydalı oldu." diyerek farkındalığa vurgu yapmıştır. K2 günlüğünde "Seslerin yerlerini tam olarak doğru basmadığımı fark ettim." ifadesi ile parmak pozisyonu hatalarının teşhis edildiğini belirtmiştir. K4'ün "Bemollü sesleri daha çok hatalı bastığımı gördüm." sözü, bireysel eğilimlere dair içgörüyü yansıtmaktadır. K2, "Entonasyonumu 10 üzerinden puanlayabilir." ifadesiyle değerlendirme beklentisini dile getirirken; K11, "Entonasyona yönelik etütler yazabilir." diyerek sistemin müdahale edici içerik üretme potansiyelini vurgulamıştır. Katılımcıların yapay zeka destekli model hakkındaki görüşleri güçlü yönler, zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler olarak aşağıdaki şekilde sunulmuştur.

Güçlü Yönler

Katılımcılar, yapay zekâ destekli geri bildirim derin analiz ve kapsamlı öneriler sunduğunu vurgulamıştır. K9 "Yorumlar o kadar detaylı ki... öğretmen bile bu kadar söyleyemezdi" derken, K12 pratik önerilere dikkat çekmiştir. K12'nin "Tellerin gerginliğinden bile bahsediyor" ve K6'nın "Profesyonel bir lüthiyere danışın dedi" ifadeleri, sistemin çalgının fiziksel boyutuna dair çıkarımlar yapabildiğini göstermektedir. Sistem yalnızca teknik değil, motivasyonel destek de sunmuştur. K3 "Resmen şok oldum", K7 ise motivasyon cümleleri ve öğretmen benzeri üslubu vurgulamış; ayrıca önerilerin öğretmenler için de ufuk açıcı olabileceğini belirtmiştir. K5'in sesli geri bildirim önerisi çoklu duyuşal geliştirme ihtiyacına işaret etmektedir. K9'un Schradieck çalışmaları önerildiğini, K11'in yay baskısı ve parmak basıncına değinildiğini belirtmesi, sistemin entonasyonun ötesinde bütüncül bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

Zayıf Yönler

Katılımcılar özellikle anlık geri bildirim eksikliğine dikkat çekmiştir. K1, "Keşke canlı çalarken tepki verseydi, daha etkili olurdu" derken; Mevcut çalışmada seslerin Cubase programı ile işlenerek yapay zekaya yorumlatılması yolu izlendiği için K10, "Yapay zekâyı kullanmak için ses işleme programı bilmemiz gerekiyor" ifadesiyle ekonomik yönden erişim zorluklarını vurgulamıştır. K9'un "Çok fazla bilimsel veri var, sadeleştirilmeli" sözleri, geri bildirimlerin daha anlaşılır biçimde sunulması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bazı öğrenciler ise yanlış veya tutarsız bilgilerle karşılaşmıştır. K12, "Si teli dedi ama kemanda si teli yok, sonra düzeltti" diyerek hata örneği verirken, yapay zekâların yanlış yorumlamasını da tutarsızlık olarak değerlendirilmiştir.

Fırsatlar

Katılımcıların yapay zekâyâ yönelik yüksek güven ve beklenti taşıdığı görülmüştür. K1, "Her şeyi yapabiliyor... güvenilir", K12, "Eğer bu sistem bizde olursa evde her gün kullanırım" ve K4, "Aladdin'in sihirli lambası gibi" ifadeleri, bireysel çalışmalarda yaygın kullanım potansiyeline işaret etmektedir. K12'nin "Tüm öğrenciler için yararlı olabilir" ifadesi yaygınlaşma fırsatını; K7 ve K9'un "Sadece öğrenciler için değil, öğretmenler için de öğretici" "Etüt planı hazırlaması öğretmen yükünü azaltır" görüşleri ise öğretim süreçlerini kolaylaştırma ve öğretmen yükünü azaltma potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca K2'nin "Türk müziği keman eğitiminde komaların nerede olması gerektiğini de söyleyebilir" yorumu, sistemin Türk müziği gibi mikrotonal yapılara da uyurlanabileceğini göstermektedir.

Tehtidler

Katılımcılar dört temel tehdit algısı dile getirmiştir. İlk olarak, yapay zekânın öğretmenin yerini alabileceği kaygısı öne çıkmaktadır (K9: "Bu sistem hoca gibi olmuş...", K6: "Öğretmene gerek kalmayacak"). Bu durumun geleneksel yaklaşımı benimseyenlerde direnç oluşturabileceği düşünülebilir. İkinci olarak, yüksek analiz kapasitesinin baskı ve kaygı yarattığı belirtilmiştir (K9: "Beni korkuttu", K12: "Öğretmenden daha iyi biliyor gibiydi"). Üçüncü olarak, farklı yapay zekâ sistemlerinin çelişkili çıktılar üretmesi güven sorununa yol açmaktadır (K11, K10). Son olarak veri paylaşımı hem fırsat hem tehdit olarak görülmektedir. Bazı öğrenciler sınırlı veri kullanımını güven verici bulurken (K7), bazıları mahremiyet ve güvenlik konusunda kaygılarını dile getirmiştir (K3, K10, K4). Ayrıca erişim ve ücret sınırlamaları da tehdit olarak algılanmıştır (K5).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, keman eğitiminde karşılaşılan entonasyon problemlerine yönelik olarak geliştirilen yapay zekâ destekli geri bildirim, öğrencilerin entonasyon performansına etkisi incelenmiştir. Nicel bulgular, öğrenci günlükleri, yüz yüze yapılan görüşmeler ve yapay zekânın sunduğu geri bildirimlerin içeriğine ilişkin elde edilen nitel verilerle desteklenerek tartışılmıştır.

Araştırmanın birinci problemine ilişkin bulgular, yapay zekâ destekli geri bildirim öğrencilerin entonasyon problemlerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Anlık, hedef odaklı ve hata temelli geri bildirim sunabilen bu sistemler, bireysel çalışma süreçlerinde performans katkı sağlamaktadır. Benzer şekilde Han (2025), yapay zekâ destekli dijital öğretim modelinin çalgı performansında gözle görülür ilerleme sağladığını ve kullanıcı memnuniyeti oluşturduğunu belirtmiştir. Son çalışmalar, yapay zekânın yalnızca geri bildirim değil, aynı zamanda hata düzeltme ve performans değerlendirme işlevlerini de üstlendiğini göstermektedir. Xiao'nun (2025) geliştirdiği SHS-IPNN modeli, piyano performanslarında yüksek doğrulukta hata tespiti ve düzeltme sunarak bu alandaki yenilikçi uygulamalara örnek teşkil etmektedir. Modelin perde doğruluğu ve zamanlama analizleri, bu çalışmanın entonasyon bulgularıyla örtüşmekte ve yapay zekânın bireysel çalgı performansında objektif bir değerlendirme aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda, gelecekte hibrit modellerin daha yüksek doğrulukta ve kişiselleştirilmiş çalgı eğitimi sunacağı öngörülebilir. Araştırma sürecinde sistemler, öğrencilere cent cinsinden ayrıntılı entonasyon geri bildirimleri sunmuş; bu geri bildirimler nota düzeltmeleri ve teknik yönlendirmeler içermiştir. Öğrenciler, bu sayede hatalarının nedenlerini daha iyi kavradıklarını ve pes/tiz eğilimlerini fark ettiklerini belirtmiştir. Bu bulgular, Marinova'nın (2024) yapay zekânın teknik analiz ve bireysel farkındalığı artırdığına ilişkin görüşleriyle örtüşmektedir.

Araştırmanın ikinci problemine ilişkin bulgular incelendiğinde, DeepSeek ve ChatGPT gibi yapay zekâ sistemlerinin öğrencilerin entonasyonunu geliştirmeye yönelik sunduğu önerilerin; doğru keman seçimi, staccato ve détaché yay çalışmaları, tel geçişleri, sol el parmaklarının dik pozisyonda tutulması (Can, 2019), bir sonraki davranış veya sesin zihinde canlandırılması, dinlenerek çalışma, gam/dizi çalışmaları, oktav, üçlü, dörtlü ve altılı çift ses çalışmaları, sol el parmaklarının güçlü basılması (Ganioğlu, 2016), akortlu çalma, akort aleti, piyano veya drone sesi ile kontrol, luthiyerden yardım alma, köprünün pozisyonunun kontrolü, uygun ve sağlıklı tel kullanımı, tellerin belirli periyotlarda değiştirilmesi, sol el parmaklarının doğru yerleşimi (Suzuki, 2007), doğru bedensel duruş, esneklik, çalma öncesi kısa süreli ısınma programları (Yağışan, 2008), kulak eğitimi, belirli bir rutinde, hergün, sıra ile ve sabırla çalışma, yorgunluk olduğu zaman dinlenme kemanın doğru tutuşunun, sağ ve sol elin kemanda doğru oturmasının ayarlanması, yavaş bir şekilde çalışma, bileğin öne arkaya yatırmadan düz tutulması, sol dirseğin pozisyonu, yay tutuşu, yayın hızı, kontrol etmek için açık tellerin kullanılması, (Bagirov, 2020) elin ve parmakların doğru / rahat konumu, kulakla kontrol, ses aralıklarını ve yerlerini önceden hissetme, önceliği tekniğe vererek daha sonra müzikaliete yönelmek, (Büyükaksoy 1997) vibratosuz çalma, seslendirilecek notanın önceden zihinde canlandırılması, aralık ve çift ses çalışmaları, seslendirilecek notanın solfejini yapılması ve çift ses çalışmaları (Fayez, 2001) gibi unsurları içerdiği görülmektedir. Bu öneriler, alan yazındaki araştırma sonuçlarını ve keman eğitimcilerinin görüşlerini desteklemektedir. DeepSeek ve ChatGPT tarafından öğrencilere sunulan geri bildirimler arasında ayak pozisyonuna ilişkin herhangi bir öneriye rastlanmamıştır. Oysa Can (2019) ve Bagirov (2020), bu iki unsurun entonasyon açısından önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, kullanılan yapay zekâ sistemlerinin analiz yeteneklerinin daha çok ses verisine odaklanması ve görsel postür analizini içermemesiyle açıklanabilir.

Çalışmanın bulgularından biri, yapay zekâ sistemlerinin teknik içerik, repertuar ve hitap biçimi açısından öğrenciden öğrenciye farklılaşarak bireyselleştirilmiş bir yaklaşım sunmasıdır. Motive edici ifadeler ve emoji kullanılması da dikkat çekmiş ve bu durum üçüncü alt problem kapsamında güçlü yönler arasında yer almıştır. Bu bulgu, keman eğitiminde öğretmenin öğrenciyi tanıması, uygun repertuar seçmesi ve motive edici bir yaklaşım sergilemesi gerektiğine ilişkin görüşlerle örtüşmektedir (Büyükaksoy, 1997; Bagirov, 2020). Bu bağlamda elde edilen sonuçlar, Marinova'nın (2024) öğretmenlerin duygusal geri bildirimlerinde farklılıklar olabileceği görüşünü desteklerken, yapay zekânın duygusal ifade açısından sınırlı olduğu değerlendirmesiyle tam olarak örtüşmemektedir. Nitekim bu çalışmada yapay zekâ sistemlerinin motive edici ifadeler ve emoji aracılığıyla öğrencilerin motivasyonuna olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

Araştırmanın üçüncü alt problemine ilişkin bulgular, yapay zekâ sistemlerinin somut ve uygulanabilir öneriler sunmasını güçlü bir yön olarak ortaya koymuştur. Buna karşın ChatGPT'nin yanlış tel ismi ("Si teli") vermesi yaygın yönler arasında yer almış; hata bildirildiğinde sistem yanıtını düzeltmiştir. Ayrıca arayüzde yer alan "ChatGPT hata yapabilir. Önemli bilgileri kontrol edin" uyarısı, olası yanlış çıktıları dikkat çekmektedir. Katılımcılar, yapay zekâ sistemlerinin Türk müziği gibi mikrotonal ve makamsal yapılara sahip geleneksel müziklerde de

kullanılabileceğini belirtmiş; bu durum kültürel çeşitlilik açısından bir fırsat olarak değerlendirilmiştir. Nitekim Yavuz vd. (2025), Türkiye'de yapay zekâ uygulamalarının henüz potansiyeline ulaşmadığını ancak giderek yaygınlaştığını ifade etmektedir. Makam müziğinin analizine ilişkin mühendislik zorlukları ise bu alana olan akademik ilgiyi artırmakta ve yapay zekânın Türk müziği eğitiminde önemli fırsatlar sunduğunu göstermektedir.

Katılımcılar, yapay zekâ sistemlerinden entonasyon problemlerine yönelik etütler üretmesini ve bunları görsel-ışitsel biçimde sunmasını beklediklerini belirtmiştir. Bu durum, yapay zekâ uygulamalarının metinsel analizle sınırlı kalmayıp çoklu ortam içerik üretmesi gerektiğini göstermektedir. Nitekim Özdemir (2024), yapay zekânın görsel ve işitsel içerik üretebildiğini; Sanganeria ve Gala (2024) ise bu içeriklerin öğrenmeyi kolaylaştırdığını, erişimi artırdığını ve maliyeti düşürdüğünü ortaya koymuştur. Katılımcılar ayrıca veri paylaşımını hem fırsat hem tehdit olarak değerlendirmiştir. Bu ikili yaklaşım literatürde de görülmekte; Chan ve Hu (2023), öğrencilerin yapay zekâyâ olumlu yaklaştığını ancak gizlilik ve etik kaygılar taşıdığını belirtmektedir.

Keman eğitiminde doğru entonasyon, hem teknik hem müzikal açıdan temel bir beceridir ve öğrencinin bu yetiyi kazanması eğitimciler için önemli bir hedeftir. Bu becerinin gelişimi süreklilik, özveri ve yoğun pratik gerektirir (Tertis, 1975). Ancak çoğunlukla haftada birkaç saatlik derslere ve usta-çırak ilişkisine dayalı eğitim süreci, yanlış çalışma alışkanlıklarının gelişmesine yol açabilmektedir (Dalmazzo ve Ramirez, 2017). Geleneksel müzik eğitiminde performans değerlendirmesi, düşük verimlilik ve kişisel deneyime bağımlılık gibi sınırlılıklar taşımaktadır (Wang ve Fitri bin Haris, 2025). Bu nedenle araştırmacılar ve eğitimciler, öğretmen geri bildirim, eşlikli çalma ve görsel-ışitsel araçlar gibi çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Buna karşın müzik eğitimcilerinin yeni teknolojilere karşı temkinli yaklaşımları ve entegrasyonda direnç gösterdikleri bilinmektedir (Dale, 2023; Rees, 2002). Ancak Joordens (2023), yapay zekâ ile eğitimde bir paradigma değişimi yaşandığını ve geleneksel yöntemlerin bu yeni bağlamda yetersiz kaldığını vurgulayarak, yapay zekâ potansiyelinin fırsata dönüştürülmesi gerektiğini belirtmektedir.

Sonuç olarak bu araştırma, üretken yapay zekâ destekli geri bildirim modelinin keman eğitiminde entonasyon becerisinin geliştirilmesindeki rolünü çok boyutlu olarak incelemiştir. Nicel bulgular, öntest-sontest puanları arasında anlamlı bir artış olduğunu göstererek modelin performansa ölçülebilir katkı sağladığını ortaya koymuştur. Nitel bulgular ise modelin yalnızca teknik düzeltme sunmadığını; detaylı analizler, kişiselleştirilmiş etütler ve motive edici geri bildirimlerle öğrenme deneyimini zenginleştirdiğini göstermiştir. Bireyselleştirilmiş geri bildirimler, öğrencilerde tanınma ve izlenme hissini güçlendirerek öz-düzenleme ve motivasyonu desteklemiştir. Bulgular, yapay zekâ destekli geri bildirim geleneksel keman öğretimi ikame etmekten ziyade tamamlayan ve veri temelli karar süreçlerini güçlendiren bir araç olarak konumlandırılabilirliğini göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, entonasyon gibi psikomotor bir becerinin geliştirilmesinde yapay zekâ temelli geri bildirimlerin performans ve öğrenen deneyimi boyutlarıyla birlikte ele alınabileceğini ortaya koyarak literatüre katkı sunmaktadır. Bununla birlikte, veri güvenliği, mahremiyet ve teknik hatalar gibi etik ve teknik boyutların dikkatle ele alınması gerekmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli uygulamaların pedagojik entegrasyonu, performans artışıyla birlikte etik farkındalık ve dijital okuryazarlık çerçevesinde değerlendirilmelidir.

4.1. Sınırlılıklar, Öneriler ve Gelecek çalışmalar

Bu araştırma, 12 keman öğrencisiyle, dört haftalık sınırlı bir sürede ve tek bir üniversite bağlamında yürütülmüş; geri bildirimler Cubase üzerinden kaydedilmiş ve ölçümler yalnızca entonasyon ile belirli yapay zekâ modelleriyle (Deepseek, ChatGPT) sınırlandırılmıştır. Bu durum bulguların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Bulgular doğrultusunda, öğrencilerin entonasyon ve postür analizi sunan yapay zekâ destekli uygulamaları düzenli kullanmaları; mobil ve ücretsiz platformlar aracılığıyla ders dışı öz değerlendirme yapmaları ve geri bildirimleri teknik gelişimin yanı sıra planlama ve motivasyon aracı olarak değerlendirmeleri önerilmektedir. Yapay zekâ, teknik gelişimin yanında müzik tarihi ve teori gibi alanlarda da destekleyici bir kaynak olarak kullanılabilir. Öğretmen ve araştırmacıların bu sistemleri derslere entegre etmeleri, bireyselleştirilmiş içerik geliştirmede kullanmaları ve pedagojik entegrasyona yönelik eğitimlere katılmaları önemlidir. Ayrıca Türk müziği gibi geleneksel repertuarlar için uygulama geliştirilmesi amacıyla yazılım geliştiricilerle iş birliği yapılabilir. Geliştiricilerin etik düzenlemeler yaparak entonasyon ve postür analizini birleştiren, görselleştirme ve seslendirme özellikleri sunan, mobil uyumlu sistemler geliştirmeleri önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda modelin farklı çalgılara uygulanması, daha geniş örneklerle ve uzun süreli izlemeyle test edilmesi, bireysel ve toplu derslerde karşılaştırılması ve farklı yapay zekâ araçlarının performans ile kullanıcı deneyimi açısından incelenmesi önerilmektedir.

Etik kurul onayı

Çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (tarih: 18.04.2025, sayı: 2025-350).

Yazarlık katkısı

Çalışmanın tasarımı ve konsepti: YA; verilerin toplanması: YA; sonuçların analizi ve yorumlanması: YA; çalışmanın yazımı: YA. Yazar sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son halini onaylamıştır.

Finansman kaynağı

Yazar, çalışmanın herhangi bir finansman almadığını beyan etmektedir.

Çıkar çatışması

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Ethical approval

The study was approved by Necmettin Erbakan University Ethics Committee for Scientific Research in the Social and Human Sciences (date: 18.04.2025, number: 2025-350).

Author contribution

Study conception and design: YA; data collection: YA; analysis and interpretation of results: YA; draft manuscript preparation: YA. Author reviewed the results and approved the final version of the article.

Source of funding

The author declare the study received no funding.

Conflict of interest

The author declare that there is no conflict of interest.

KAYNAKLAR

- Abbas, M., Jam, F. A. ve Khan, T. I. (2024). Is it harmful or helpful? Examining the causes and consequences of generative AI usage among university students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 10. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00444-7>
- Akdeniz, A. Ö. (2023). Keman eğitiminde tını, ses rengi, ton üretimi ve müzikalitenin incelenmesi. *Korkut Ata Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, (12), 1452-1470. <https://doi.org/10.51531/korkutataturkiyat.1332319>
- Aksoy, Y. (2023). Seeing sounds: The effect of computer-based visual feedback on intonation in violin education. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 11(2), 2-12. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v11n.2p.2>
- Angı, Ç. E. (2013). Keman öğretiminde karşılaşılan entonasyon problemleri ve çözüm önerileri. *Sanat Eğitimi Dergisi*, 1(2), 48-69. <https://doi.org/10.7816/sed-01-02-04>
- Altun, E. (2024). Yapay zekâ ve pedagoji: Eğitimde fırsatlar ve zorluklar. *Journal of Digital Technologies and Education*, 3(1), 80-95.
- Aykut, E. ve Taş, S. (2023). Gamified violin playing in virtual reality based metaverse environment. *Journal of Emerging Computer Technologies*, 3(1), 7-11. <https://doi.org/10.57020/ject.1298919>
- Bagırov, R. (2020). *Keman metodu*. EÇM Yayınevi.
- Büyükaksoy, F. (1997). *Keman öğretiminde ilkeler ve yöntemler*. Armoni Ltd. Şti.
- Büyüköztürk, Ş., Çokluk, Ö. ve Köklü, N. (2013). *Sosyal bilimler için istatistik* (12. bs.). Pegem Akademi.
- Can, Ö. (2019). *Keman eğitimi 1*. Önder Matbaacılık.
- Canyakan, S. (2013). *Profesyonel müzik kayıtlarında perde doğrulamanın performansa yönelik etkileri* (Tez No. 331903) [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurumu Ulusal Tez Merkezi.
- Chan, C. K. Y. ve Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 43. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>
- Chen, J., Woollacott, M. H., Pologe, S. ve Moore, G. P. (2008). Pitch and space maps of skilled cellists: Accuracy, variability, and error correction. *Experimental Brain Research*, 188(4), 493-503. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1380-2>
- Creswell, J. W. ve Plano Clark, V. L. (2015). *Designing and conducting mixed methods research* (3. bs.). SAGE Publications.

- Dale, P. (2023). *Teachers reluctant to use technology in music teaching, say experts*. University of York. <https://www.york.ac.uk/news-and-events/news/2023/research/reluctance-to-use-technology-in-music-teaching/>
- Dalmazzo, D. ve Ramirez, R. (2017). Air violin: A machine learning approach to fingering gesture recognition. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education* (pp. 63-66). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3139513.3139526>
- Fernández-Barros, A., Duran, D. ve Viladot, L. (2023). Peer tutoring as a tool for developing the intonation of violin and viola students in elementary music education. *Music Education Research*, 25(2), 176-189. <https://doi.org/10.1080/14613808.2023.2193210>
- Fayez, S. (2001). *Kuramdan uygulamaya başlangıç keman eğitimi*. Yurtrenkleri Yayınevi.
- Flesch, C. (2000). *The art of violin playing*. Carl Fischer LLC.
- Ganioglu, T. (2016). *Keman çalma eğitiminde sağ el/sol el tekniği*. Akademisyen Kitabevi.
- Geringer, J. M., MacLeod, R. B., Madsen, C. K. ve Napoles, J. (2015). Perception of melodic intonation in performances with and without vibrato. *Psychology of Music*, 43(5), 675-685. <https://doi.org/10.1177/0305735614534004>
- Ghaeimi, F., Aghazadeh, Y. ve Salehi, K. (2025). Transforming education with artificial intelligence: A systematic review of applications, potentials, and outcomes. *Sciences and Techniques of Information Management*, 21(1). <https://doi.org/10.22091/stim.2025.10570.2083>
- Gliem, J. A. ve Gliem, R. R. (2003). *Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales*. Midwest Research-to-Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education, The Ohio State University, Columbus, OH.
- Gün, E., Elmas Gün-Duru, E. ve Demirtaş, O. (2016). Müzik eğitiminin bilişsel gelişime etkisi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 50, 117-124. <https://doi.org/10.9761/JASSS3555>
- Han, Y. (2025). Exploring a digital music teaching model integrated with recurrent neural networks under artificial intelligence. *Scientific Reports*, 15, 7495. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92327-8>
- Haenlein, M. ve Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California Management Review*, 61(4), 5-14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>
- Holmes, W., Bialik, M. ve Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Joordens, S. (2023). *Education's paradigm shift: How AI is reshaping learning*. University World News. <https://www.universityworldnews.com/post.php?story=20231129101102152>
- Kalender, C. ve Akgül Barış, D. (2022). Effectiveness of the teaching program prepared to improve intonation skills in violin education. *Education and Science*, 47(211), 171-193. <https://doi.org/10.15390/EB.2022.11530>
- Knotts, C. J. (2018). *The effect of tactile markers on intonation and posture of beginning violin and viola students* [Doktora tezi, Florida State University]. http://purl.flvc.org/fsu/fd/2018_Su_Knotts_fsu_0071E_14625
- Lee, S. S. ve Moore, R. L. (2024). Harnessing generative AI (GenAI) for automated feedback in higher education: A systematic review. *Online Learning*, 28(3), 82-104. <https://doi.org/10.24059/olj.v28i3.4593>
- Li, J. (2023). Advancing violin pedagogy through biomedical inspired AI: A digital technology assisted approach to violin teaching. *Journal of Commercial Biotechnology*, 28(2), 363-376. <https://commercialbiotechnology.com/article-detail/?id=1498>
- Li, P. ve Wang, B. (2023). Artificial intelligence in music education. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(16), 4183-4192. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2209984>
- Liu, W. (2025). Using the Trala application for learning to play the violin: A study of techniques, which affect listeners. *Acta Psychologica*, 255, 104930. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104930>
- Loeffler, B. D. (2006). *Instrument timbres and pitch estimation in polyphonic music* [Yüksek lisans tezi, Georgia Institute of Technology]. <https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/6fe78bf0-ea7c-49e2-ba03-2690dd669f85/content>
- Lv, H. Z. (2023). Innovative music education: Using an AI-based flipped classroom. *Education and Information Technologies*, 28, 15301-15316. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11835-0>
- Marinova, E. (2024). Impactul inteligenței artificiale în educația muzicală și artele spectacolului. *Symbolon*, 25(1(46)), 99-105. <https://doi.org/10.46522/S.2024.01.8>

- Merchán Sánchez Jara, J. F., González Gutiérrez, S., Cruz Rodríguez, J. ve Syroyid Syroyid, B. (2024). Artificial intelligence-assisted music education: A critical synthesis of challenges and opportunities. *Education Sciences*, 14(11), 1171. <https://doi.org/10.3390/educsci14111171>
- Merriam, S. (2018) *Qualitative research. A guide to design and implementation*. (S. Turan, Ed. ve Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Miles, M. B. ve Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded source book*. Sage.
- Moradi, H. (2025). Integrating AI in higher education: Factors influencing ChatGPT acceptance among Chinese university EFL students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, 30. <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00530-4>
- Morrison, S. ve Fyk, J. (2002). Intonation. In R. Parncutt ve G. McPherson (Ed.), *The science ve psychology of music performance* (s. 183-197). Oxford University Press.
- Müller, C. ve Mildenerger, T. (2021). Facilitating flexible learning by replacing classroom time with an online learning environment: A systematic review of blended learning in higher education. *Educational Research Review*, 34, 100394. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100394>
- Nunez, M. L. (2002). *Comparison of aural and visual instructional methodologies designed to improve the intonation accuracy of seventh -grade violin and viola instrumentalists* (Yayın No. 3127050). [Doktora tezi, University Of North Texas]. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/comparison-aural-visual-instructional/docview/305553042/se-2>
- OECD. (2021). *Digital education outlook 2021: Pushing the frontiers with artificial intelligence, blockchain and robots*. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2021_589b283f-en.html
- Özcan, A. T. (2017). Keman eğitiminde çoksesli aranje tekniklerinin kullanımı. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 13(1), 290-302. <https://doi.org/10.17860/mersinefd.305980>
- Özdemir, A. (2024). Dijital sanatın geleceği, yapay zekâ ile yeni ufuklar. *TURAN-SAM*, 16(64), 545-552. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1292220>
- Pardue, L. S. ve McPherson, A. P. (2019). Real-time aural and visual feedback for improving violin intonation. *Frontiers in Psychology*, 10, 627. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00627>
- Rees, F. J. (2002). Distance learning and collaboration in music education. In R. Colwell ve C. Richardson (Ed.), *The new handbook of research in music education* (s. 257-273). Oxford University Press.
- Roads, C. (1980). Artificial intelligence and music. *Computer Music Journal*, 4(2), 13-25. <https://doi.org/10.2307/3680079>
- Say, A. (2009). *Müzik sözlüğü*. Müzik Ansiklopedisi Yayınları.
- Sökezoğlu Atılğan, D. ve Tazegül, G. (2024). The impact of accompaniment in the instrument (violin) education course on the musical development of the student and their perspective on the course. *Eurasian Journal of Music and Dance*, 25, 183-209. <https://doi.org/10.31722/ejmd.1524512>
- Sanganeria, S. ve Gala, R. (2024). Tuning music education: AI-powered personalization in learning music. In *Proceedings of the 38th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024), Creative AI Track* (s. 1-14). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.13514>
- Spiegel, M. F. ve Watson, C. S. (1984). Performance on frequency-discrimination tasks by musicians and nonmusicians. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 76(6), 1690-1695. <https://doi.org/10.1121/1.391605>
- Spohr, L. (1843). *Louis Spohr's celebrated violin school*. R. Cocks & Co.
- Suzuki, S. (2007). *Suzuki violin school: Violin part*. Alfred Publishing.
- Taş, F. (2020). Yaylı çalgılar eğitiminde entonasyonu geliştirmeye yönelik kullanılan üç yöntemin karşılaştırılması. *İdil*, 9(76), 1802-1820. <https://doi.org/10.7816/idil-09-76-04>
- Tertis, L. (1975). *My viola and I: A complete autobiography: With beauty of tone in string playing and other essays* (2. bs.). Elek.
- Thurmond, V. A. (2001). The point of triangulation. *Journal of Nursing Scholarship*, 33(3), 253-258. <https://doi.org/10.1111/j.1547-5069.2001.00253.x>
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R. ve Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*, 10, 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>

- Ursavaş, Ö. F., Yalçın, Y., İslamoğlu, H., Bakır-Yalçın, E. ve Cukurova, M. (2025). Rethinking the importance of social norms in generative AI adoption: Investigating the acceptance and use of generative AI among higher education students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, 38. <https://doi.org/10.1186/s41239-025-00535-z>
- Wang, X. ve Fitri bin Haris, M. (2025). AI-driven violin performance evaluation: A deep learning approach for automated assessment and personalized feedback in music education. In *Proceedings of the 2025 International Conference on Generative Artificial Intelligence and Digital Media* (s. 126-132). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3734921.3734941>
- Wei, J., Karuppiah, M. ve Prathik, A. (2022). College music education and teaching based on AI techniques. *Computers and Electrical Engineering*, 100, 107851. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107851>
- Xiao, X. (2025). Innovative application of artificial intelligence in piano music education and evaluation. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*. <https://doi.org/10.1177/14727978251361785>
- Yağışan, N. (2008). *Keman çalmanın biyomekanik analizi*. Eğitim Kitabevi.
- Yang, L., Rajab, K. Z. ve Chew, E. (2016). Ava: An interactive system for visual and quantitative analyses of vibrato and portamento performance styles. In *Proceedings of the 17th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)* (s. 108-114).
- Yavuz, M. S., Karaosmanoğlu, M. K., Yeprem, M. S., Karşıcı, G. ve Sezikli, Ü. (2025). Türkiye'de müzik ve yapay zekâ üzerine bir değerlendirme [Özel sayı]. *Öneri Dergisi*, 20 (MX), 50-70. <https://izlik.org/JA32XA72NY>
- Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2008). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.
- Yin, J., Wang, Y. ve Hsu, D. (2005). Digital violin tutor: An integrated system for beginning violin learners. In *Proceedings of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia (MULTIMEDIA '05)* (s. 976-985). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1101149.1101353>
- Yu, X., Ma, N., Zheng, L., Wang, L. ve Wang, K. (2023). Developments and applications of artificial intelligence in music education. *Technologies*, 11(2), 42. <https://doi.org/10.3390/technologies11020042>
- Zabanal, J.-R. A. (2020). Improving intonation with a drone accompaniment. *American String Teacher*, 70(4), 35-40. <https://doi.org/10.1177/0003131320963107>
- Zhou, W. ve Kim, Y. (2024). Innovative music education: An empirical assessment of ChatGPT-4's impact on student learning experiences. *Education and Information Technologies*, 29, 20855-20881. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12705-z>

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

Generative artificial intelligence (GenAI) has triggered a transformation in education that is frequently described as a "paradigm shift," thanks to its capacity to process large-scale data and produce personalized feedback (Joordens, 2023). The OECD (2021) emphasizes AI's potential to personalize instruction and integrate assessment into learning. Music education, however, is a multilayered field that simultaneously develops cognitive, affective, and psychomotor domains (Gün et al., 2016; Wei et al., 2022). For this reason, how AI should be positioned in performance-based disciplines remains an important research question.

Within violin education, intonation is a fundamental skill that requires continuous development. Intonation can be defined in its broadest sense as "the accuracy of pitch" (Say, 2009). Because string instruments lack fixed pitch mechanisms, producing correct pitches depends on highly sensitive auditory-motor coordination (Chen et al., 2008). Students often fail to notice intonation errors during independent practice and tend to rely heavily on teachers' verbal cues (Angi, 2013). Under the common model of one lesson per week, the absence of objective and immediate feedback during out-of-class practice becomes particularly salient (Pardue & McPherson, 2019).

Drawing on the "Mirror, mirror, tell me..." metaphor from the Brothers Grimm, this study conceptualizes generative AI as a "digital mirror." The purpose is to examine (a) the effect of AI-assisted feedback on violin students' intonation performance, (b) the types of feedback provided, and (c) students' experiences with the process in a holistic manner. The study addresses three research questions: (1) Does the AI-assisted feedback model produce a statistically significant difference between pre-test and post-test intonation scores? (2) What types of feedback do AI systems provide? (3) How do students experience and evaluate AI-assisted feedback?

2. Method

A mixed-methods embedded design was employed (Creswell & Plano-Clark, 2015). The quantitative strand used a single-group pre-test-post-test quasi-experimental design, while the qualitative strand analyzed student diaries, semi-structured interviews, and the AI-generated feedback texts.

The study group consisted of 12 violin students (9 female, 3 male) enrolled in a music education department at a state university in Türkiye during the 2024-2025 academic year. The intervention lasted four weeks, with one 45-minute session per week. Students' performances were recorded using Cubase Pro 8, and pitch deviations were obtained in cents via the VariAudio module. A total of 2,208 note-level data points were analyzed. To prevent vibrato from confounding pitch measurement, students were instructed not to use vibrato during performance (Yang et al., 2016).

The cent-based deviation values were converted into categorical scores using an Intonation Evaluation Form, whose reliability was $\alpha = .892$. Normality was checked with the Shapiro-Wilk test, and pre-test/post-test differences were examined using a paired-samples t-test.

Students' cent tables were presented to two generative AI systems (ChatGPT-4o and DeepSeek-V3) along with the instruction: "I am a violin student. Could you analyze the test results I am sending in cents and provide evaluation and recommendations like a teacher?" Throughout the process, the teacher provided no intonation-related feedback. Qualitative data were analyzed through descriptive analysis; inter-coder agreement was .92.

3. Findings, Discussion and Results

Quantitative findings indicated a statistically significant difference between pre-test ($M = 144.75$) and post-test ($M = 207.33$) scores ($t = -8.889$, $p < .05$). This result suggests that AI-assisted feedback positively affected intonation performance over a short-term intervention.

The feedback generated by the AI systems clustered into four dimensions: (1) explanatory feedback (e.g., "A cent is a unit equal to 1/1200 of an octave..." K4), (2) descriptive analysis (positive/negative deviations, tendencies, progress indicators), (3) technical and musical recommendations (left-hand placement, bow control, drone practice, slow tempo work), and (4) motivational statements and goal projections. For example, one participant received concrete guidance such as "Move your flat-finger placements about 5% back... keep the bow slightly closer to the bridge" (K6). Another student commented, "This level of detailed analysis really surprised me" (K3).

Notably, feedback extended beyond technique to include instrument-related suggestions, such as "If your strings are older than three months, replace them" (K6) or "The soundpost should be checked" (K12). This indicates that the systems could adopt a multidimensional diagnostic stance rather than attributing the issue solely to the learner.

Students highlighted personalized and actionable recommendations, motivational language, and the visibility of progress as key strengths. The statement "The comments were so detailed... even a teacher might not say this much" (K9) reflects this perception. Reported limitations included the lack of real-time feedback, the need for technical infrastructure, and occasional inaccuracies (e.g., the "B string" error).

Overall, the findings align with Han (2025), who reported performance gains in an AI-supported instrumental teaching model, and with Xiao (2025), who demonstrated AI's capacity for objective error detection and correction in performance assessment. The results also resonate with Marinova's (2024) view that AI-enhanced pedagogical systems can increase individual awareness. At the same time, students' concerns about data privacy and the potential erosion of the teacher's role parallel ethical discussions in the literature (Chan & Hu, 2023).

In conclusion, AI-assisted feedback contributed to intonation development in violin education and was associated with increased technical awareness and motivation. By functioning as a "digital mirror," the AI systems made performance patterns visible and supported goal-oriented practice. Nevertheless, improvements are needed regarding real-time analysis, integration of visual/postural feedback, and data security. Future research should test the model with larger samples and longer interventions.