

Müziğin Nörobiyolojik Temelleri ve Müzik Eğitimi

Yunus Yapalı¹

Özet

Bu kitap bölümü, müziğin nörobiyolojik temellerini ve beynin yapı ile fonksiyonları üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ele almaktadır. Bölüm, müziğin insan beyninde evrimsel kökenlerini, bilişsel ve duygusal süreçler üzerindeki rolünü ve nöroplastisiteyi destekleyen mekanizmalarını incelemektedir. Müziğin limbik sistem aracılığıyla duygusal deneyimi dönüştürmesi, ödül ve motivasyon merkezlerini etkilemesi, terapötik uygulamalardaki potansiyeli ve eğitimsel katkıları ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Özellikle müzik eğitiminin, beynin yapısal ve fonksiyonel organizasyonunu uzun vadeli ve kalıcı biçimde değiştirme kapasitesi vurgulanmakta; çocuklarda ve erişkinlerde bilişsel, duygusal ve sosyal gelişimi desteklediği belirtilmektedir. Erken çocukluk döneminde müzik eğitimi, dil gelişimini hızlandırmak, sağ ve sol hemisferler arasındaki iletişimi güçlendirmek ve nörobilişsel gelişimi teşvik etmek açısından kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, müzik yalnızca estetik bir ifade biçimi değil, aynı zamanda nörolojik ve psikolojik gelişimi destekleyen çok boyutlu bir biyolojik ve bilişsel araç olarak değerlendirilmektedir. Bu perspektif, özellikle terapötik ve eğitsel alanlarda müzik uygulamalarının bilimsel temellere dayandırılmasına olanak sağlamaktadır.

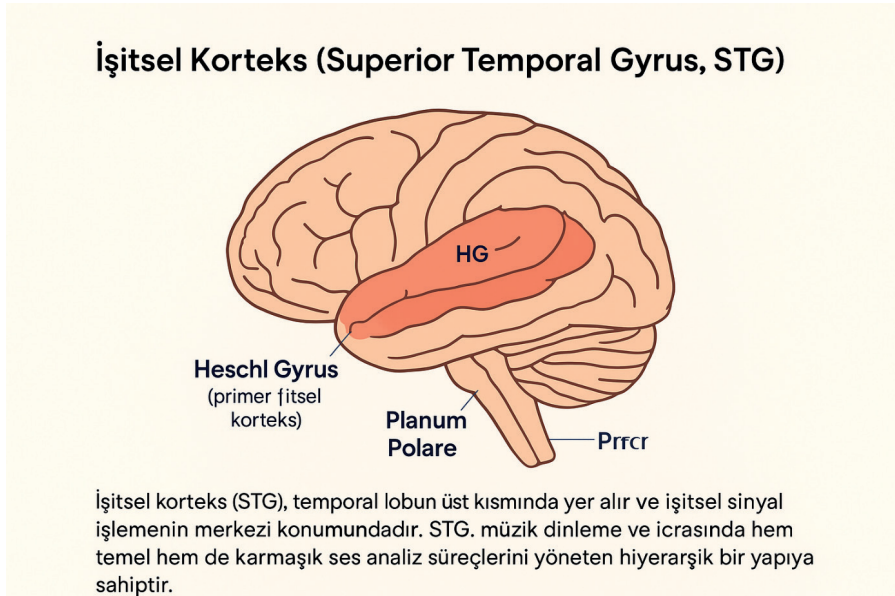
1. Müzik, Beyin ve Nöroplastisitenin Keşfi

Müzik, insanlık tarihi boyunca kültürel ve toplumsal yaşamın ayrılmaz bir parçası olmuştur. Ritimler, melodiler ve armoniler, sadece bir eğlence aracı olmanın ötesinde, duyguların ifade edilmesi, toplumsal bağların kurulması ve estetik deneyimlerin paylaşılması için temel bir araç işlevi görmüştür. İnsanlar farklı kültürlerde farklı biçimlerde müzik üretse de

1 Dr. Öğr. Üyesi Yunus YAPALI, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, Müzik Eğitimi ABD, Sivas, yunusyapali@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: orcid.org/ 0000-0003-4225-9005

müziğin insan yaşamındaki evrensel rolü, onun hem duygusal hem de bilişsel açıdan merkezi bir konuma sahip olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, müzik yalnızca kültürel bir olgu olarak değil, aynı zamanda insan beyninin işleyişi ve gelişimiyle sıkı bir ilişki içinde olan evrensel bir deneyim olarak değerlendirilebilir.

Levitin (2006) tarafından vurgulandığı üzere, müzik, insan beyninde ortak bilişsel ve nörobiyolojik temellere dayanan evrensel bir olgudur. Müzik dinleme veya icra etme sırasında, beynin ödül sistemleri, limbik merkezler ve işitsel korteks gibi temel yapıları koordineli biçimde çalışır.



Şekil 1. İşitsel Korteksin (STG) Alt Bölgeleri ve Müzikal İşlevleri

Bu yapılardan biri olan işitsel korteks (Superior Temporal Gyrus, STG), temporal lobun üst kısmında yer alır ve işitsel sinyal işlemenin merkezi konumundadır (Kaas ve Hackett, 2000; Wessinger vd., 2001). STG, müzik dinleme ve icrasında hem temel hem de karmaşık ses analiz süreçlerini yöneten hiyerarşik bir yapıya sahiptir (Peelle vd., 2010). STG'nin alt bölgeleri, müzikal işlemenin farklı düzeylerinde özel roller üstlenir. Heschl Gyrus (HG), primer işitsel korteks (A1) olarak, temel frekans analizi ve ses perdesi (pitch) işleminden sorumludur (Hall ve Plack, 2009; Patterson vd, 2002; Warrier vd., 2009). HG'nin hemen arkasında yer alan Planum Temporale (PT), spektral-zamansal bilgiyi işleyen ve ses nesnelerinin tanınmasında

görev alan bir “hesaplama merkezi” işlevi görür (Griffiths ve Warren, 2002; Mišić vd., 2018). HG’nin ön kısmında bulunan Planum Polare (PP) ise kısa ses parçalarını daha karmaşık melodik ya da sözel desenlere dönüştürme sürecine katkıda bulunur (Peelle vd., 2010). Bu nörobiyolojik yapıların eşgüdümlü çalışması, müziğin insan beyinde evrensel bir bilişsel temele sahip olduğunu ortaya koyar. Ayrıca prenatal dönemde başlayan müziğe duyarlılık ve çocuklukta gözlemlenen müzik tercihleri, beynin gelişimsel süreçleri ve kalıcı hafıza yapılarıyla yakından ilişkilidir; bu durum, müziğin biyolojik evrenselliğini güçlü biçimde destekler.

Müzik, duygusal hafızayı tetikleyen güçlü bir uyaran olarak insan belleğinde özel bir yere sahiptir. Hafıza kaybı yaşayan bireylerde, tanıdık melodiler yalnızca geçmiş deneyimlerin hatırlanmasını kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kimlik hissinin yeniden güçlenmesine katkıda bulunur. Bu süreçte müzik, amigdala ve hipokampusun eşzamanlı aktivasyonunu artırarak bireyin geçmişle duygusal bir bağ kurmasını sağlar. Hipokampus ve amigdala arasındaki bu etkileşim, duygusal olarak anlam taşıyan müziklerin geçmiş yaşantılarla ilişkilendirilmesini mümkün kılar (Koeslch, 2014). Tanıdık melodiler, amigdala ve hipokampus aktivasyonunu artırarak geçmiş anıların hatırlanmasını kolaylaştırmakta ve kimlik hissinin yeniden güçlenmesine katkıda bulunmaktadır (Jacobsen vd., 2015). Bu nedenle, müzik özellikle Alzheimer ve demans hastalarında terapötik bir araç olarak kullanılmakta; bireylerin anılarını ve duygusal bütünlüklerini yeniden yapılandırmalarına yardımcı olmaktadır (Baird ve Samson, 2015; Janata, 2009). Benzer biçimde, depresyon ve kaygı gibi duygudurum bozukluklarında müzikoterapi, duygusal düzenleme ve gevşeme sağlamada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Araştırmalar, hüznü müziklerin bile dinleyicide empatik bir rahatlama, yani katarsis yaratabileceğini göstermektedir (Vuoskoski ve Eerola, 2017). Dolayısıyla müzik, hem biyolojik hem de kültürel boyutlar taşıyan bir olgu olarak, evrensel nörobiyolojik temeller üzerine kültürel bağlamlar ve bireysel farklılıkların inşa edildiği çok katmanlı bir insan deneyimi niteliğindedir. Bu çok katmanlı yapı, müziğin yalnızca bir estetik ifade biçimi değil, aynı zamanda tedavi edici ve yeniden yapılandırıcı bir araç olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Nitekim, ritmik işitsel uyarıların Parkinson hastalarında yürüyüş ritmini ve koordinasyonu artırdığı, ritmin bazal ganglionların motor çıktılar üzerindeki kontrolünü düzenleyerek hareket akıcılığını desteklediği belirlenmiştir (Thaut vd., 1996). Benzer biçimde, Melodik Konuşma Terapisi (MIT), konuşma yetisini kaybeden bireylerde sağ yarımküredeki sağlam alanları etkinleştirerek iletişim becerilerinin yeniden yapılandırılmasını sağlamaktadır (Schlaug vd., 2008).

Son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar, müziğin beyinde konuşmadan bağımsız bir bilişsel sistem olarak işlendiğini ortaya koymuştur. Müzik, konuşmanın dilsel yapısından farklı sinir ağları tarafından temsil edilmekte ve işlenmektedir (Norman-Haignere vd., 2015). Bu bulgu, müziğin yalnızca dilin bir uzantısı değil, kendi başına özgün bir nörobilişsel sistem olduğunu göstermektedir. Ayrıca UC Berkeley’de yapılan bir çalışmada, Pink Floyd’un *“Another Brick in the Wall”* adlı şarkısı, dinleme sırasında kaydedilen sinirsel aktivitelerden yeniden üretilmiştir (Bellier vd., 2023). Bu deney, beynin müziksel bilgiyi kodlama ve çözümleme biçimlerine ilişkin yeni bir dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir. Müzik hem bilişsel hem duygusal hem de motor düzeyde insan beyninde bütüncül bir etki yaratır. Nörolojik ve psikolojik düzeydeki bu etkileşim, müziğin öğrenme, terapi ve iletişim süreçlerindeki dönüştürücü gücünü açıkça ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, Levitin, müziğin toplumsal bağların kurulmasında, duyguların paylaşılmasında ve estetik deneyimlerin yaşanmasında merkezi bir araç olduğunu belirtir. Evrensel yapısına rağmen, müziğin bireysel ve kültürel deneyimlerle şekillendiği gerçeği, onun çok katmanlı ve karmaşık doğasını ortaya koyar. Tüm bu unsurlar, müziğin insan doğasının temel bir parçası olduğunu ve biyolojik evrenselliğin kültürel ve kişisel dinamiklerle bütünleştiğini göstermektedir (Levitin, 2006, 2013).

Nörobilim alanında yapılan araştırmalar, müziğin beyinde birçok sistemi eşzamanlı olarak harekete geçirdiğini göstermektedir. Zatorre vd. (2007) çalışmalarına göre, müzik dinleme ya da icra etme sırasında işitsel, motor, duygusal ve bilişsel sistemler birlikte çalışmakta; bu durum beynin müziği bütüncül bir biçimde işlediğini ortaya koymaktadır. Özellikle sensörimotor etkileşimler, premotor ve motor korteksler ile işitsel bölgeler arasındaki bağlantılar aracılığıyla gerçekleşmekte ve müzik performansının karmaşık motor ve duysal süreçlerin koordinasyonunu gerektirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, dinlenen müziğin ritmik yapısında yer alan vuruş sayısındaki değişimin, dinleyicinin algıladığı gerilim düzeyini anlamlı biçimde farklılaştırdığı gözlemlenmiştir; bu bulgu, ritmik yoğunluğun fizyolojik ve duygusal uyarılma düzeyleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Yuvacı, 2023). Söz konusu etkileşimler, müzik eğitimi sürecinde ya da müzikle düzenli olarak ilgilenen bireylerde daha belirgin hâle gelmekte ve beynin yapısal özelliklerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Nörogörüntüleme teknikleriyle yapılan çalışmalar, müzisyenlerin beyinde özellikle işitsel ve motor alanlarda yapısal farklılıklar bulunduğunu da desteklemektedir (Zatorre vd., 2007; Zatorre vd., 2012).

Düzenli müzik pratiği, işitsel ve motor korteksteki sinaptik bağlantıların sayısını ve etkinliğini artırarak beynin esnekliği ve adaptasyon kapasitesini

güçlendirmektedir (Schlaug vd.,2005). Ayrıca, müzik eğitiminin hem gri madde (grey matter) hacminde hem de beyaz madde (white matter) bağlantılarında değişiklikler oluşturabildiği; tonal dil öğrenimi ve müziksel becerilerin gelişimiyle ilişkili olarak beynin çeşitli bölgelerinde yapısal yeniden yapılanmayı desteklediği gösterilmiştir. Bu süreçler, öğrenme ve adaptasyon sırasında nöroplastisiteyi teşvik ederek bilişsel ve duysal yeteneklerin gelişimine katkıda bulunmaktadır (Zatorre vd., 2012). Bu bütüncül işleme süreci, beynin deneyimle değişebilme kapasitesini ifade eden nöroplastisite kavramı ile yakından ilişkilidir. Nöroplastisite, beynin deneyimlerle sürekli olarak değişme ve uyum sağlama kapasitesini ifade eder. Bu kavram, yeni öğrenme ve deneyimler sonucunda sinaptik bağlantıların güçlenmesi veya yeniden organize edilmesini kapsar (Kolb ve Whishaw, 2015).

Hyde ve arkadaşlarının (2009) çalışmasına göre, erken yaşta müzikle etkileşime giren çocuklarda dikkat, hafıza, dil farkındalığı ve motor koordinasyon gibi bilişsel ve psikomotor becerilerde anlamlı gelişmeler gözlemlenmiştir. Söz konusu araştırma, 15 aylık müzik eğitiminin beyin yapısında kalıcı ve önemli değişiklikler yarattığını ortaya koyarak, müziğin yalnızca sanatsal bir etkinlik değil, aynı zamanda bilişsel gelişimi destekleyen güçlü bir araç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı çalışmalar müzik eğitimlerinin özellikle; motor ve dil becerilerinin gelişimini teşvik ettiğini (Moreno vd., 2011) matematik ve genel zekâ seviyelerini artırdığını (Schellenberg, 2004) okuma yazma, dikkat ve hafıza gibi temel bilişsel yetenekleri geliştirdiğini (Seither-Preisler vd., 2014) doğrulamaktadır.

Ritim temelli çalışmalar, özellikle erken çocukluk döneminde dil gelişimi, ses ayrımı ve okuma öncesi becerilerin desteklenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu araştırmalar, çocukların müzik ve ritim aracılığıyla kültürel ve dilsel yapıları fark etmelerini sağlayarak, sözcük akıcılığı ve fonolojik farkındalık gibi temel okuma becerilerinin gelişimine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, aktif müzik katılımı ve ritim algısı, çocukların sözlü iletişim ve sosyal etkileşim becerilerini güçlendirmektedir. Bu bulgular, erken yaşta müzik ve ritim aktivitelerine katılımın, dil ile ilişkili bilişsel ve sosyal becerilerin geliştirilmesinde etkili bir yöntem olabileceğini göstermektedir (Gerry vd., 2012). Bu bulgular, erken yaşta müzikle ilgilenmenin ve eğitim almanın, beynin yapısal ve fonksiyonel gelişimini destekleyerek temel bilişsel alanlarda ilerlemeye katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Müziksel etkinlikler, beynin duygusal sistemleri üzerinde de güçlü etkiler yaratmaktadır. Nörokimyasal düzeyde müzik dinlemek, mutluluk ve ödül mekanizmalarıyla ilişkili dopamin adlı nörotransmitterin salınımını artırır;

bu durum müziğin haz duygusu yaratma, öğrenme isteğini pekiştirme ve motivasyonu destekleme işlevleriyle ilişkilidir (Salimpoor vd., 2011; Zatorre, 2015).

Kortizol, organizmanın stres tepkilerini düzenleyen ve stresle ilişkilendirilen önemli bir glukokortikoid hormondur. Bu hormon, özellikle hipokampus, amigdala ve prefrontal korteks gibi beyin bölgelerinde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere neden olabilir. Uzun süreli yüksek seviyeleri, kronik stres durumlarıyla ilişkilidir ve bu durum, beynin ve organizmanın sağlığını olumsuz yönde etkileyebilir (McEwen, 2007). Oksitosin, bağlanma ve güven duygusunu destekleyen bir hormon iken, endorfin doğal ağrı kesici ve mutluluk hissi sağlayan bir nörokimyasal maddedir (Olff vd., 2013).

Chanda ve Levitin (2013) çalışmasına göre, müzik dinlemek kortizol düzeylerini azaltarak stresin azalmasını ve vücudun sakinleşip rahatlama tepkisi vermesini desteklemektedir. Özellikle yavaş ve melodik müzikler, parasempatik sinir sistemini aktive ederek kalp atım hızını ve kan basıncını düşürmekte; bunun sonucunda kas gerginliği azalmakta, nefes ritmi düzenlenmekte ve zihinsel rahatlama sağlanmaktadır. Ayrıca, müziğin dopamin sistemi üzerinde olumlu etkiler gösterdiği ve ödül ile motivasyon sistemlerini aktive ederek öğrenme ve motivasyonu desteklediği belirtilmektedir; dopamin, beyinde sinir hücreleri arasında bilgi iletimini sağlayan bir nörotransmitterdir (Chanda ve Levitin, 2013; Zatorre, 2015). Bu bulgular, müziğin stres yönetimi ve fizyolojik rahatlama açısından terapötik bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bunun yanı sıra, grup hâlinde yapılan müziksel etkinlikler -örneğin koro, toplu çalgı performansları veya ritim çalışmaları- oksitosin ve endorfin salınımını artırarak sosyal bağların güçlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu nörokimyasal değişimler, bireyler arasında empati, işbirliği ve topluluk bilincinin artmasına aracılık etmektedir (Kreutz vd., 2004; Tarr vd., 2014). Tüm bu bulgular, müziğin yalnızca eğlenceli bir etkinlik olmadığını; aynı zamanda stres yönetimi ve sosyal uyumda işlev gören güçlü bir nörokimyasal araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Nörogörüntüleme araştırmaları, düzenli müzik pratiğinin beynin yapısal ve işlevsel organizasyonunu dönüştürebildiğini göstermektedir. Gaser ve Schlaug'un (2003) yürüttüğü çalışmada, uzun süreli müzik eğitimi almış bireylerin beyinlerinde gri madde yoğunluğunun -bilgi işleme, dikkat ve karar verme süreçlerinde görev alan nöronların bulunduğu bölge- arttığı saptanmıştır. Aynı zamanda, beyaz madde yollarında da güçlenme gözlenmiştir; bu yollar, beynin farklı bölgeleri arasındaki bilgi akışını sağlayan sinir liflerinden oluşur. Çalışma, müzisyenlerin motor (hareket), işitsel (ses

algısı) ve görsel-uzaysal (görsel konum ve yön algısı) beyin bölgelerinde hacim artışları sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, müzik eğitiminin yalnızca bilişsel becerileri geliştirmekle kalmayıp, beynin yapısında kalıcı nöroplastik değişimlere yol açtığını ve uzun vadeli adaptasyon süreçlerini desteklediğini göstermektedir (Gaser ve Schlaug, 2003). Bu yapısal değişimlerin, dikkat, planlama, hafıza ve problem çözme gibi yürütücü işlevlerin gelişimiyle yakından ilişkili olduğu söylenebilmektedir.

İnsan beyni, döllenmeden kısa bir süre sonra gelişmeye başlar ve yaklaşık 20–30 yaş civarında olgunluğa ulaşır. Doğum sonrasında, özellikle 0–6 yaş arasındaki erken çocukluk döneminde, beynin sinir hücreleri normalden çok sayıda bağlantı kurar; bu fazla sinaptik bağlantı, çevresel deneyimlerle şekillenecek bir temel sağlar (Huttenlocher ve ark., 1982; LaMantia ve Rakic, 1994). Zamanla kullanılmayan bağlantılar elenir ve bu süreç deneyimlerle yönlendirilir; böylece beyin ağları daha düzenli, verimli ve fonksiyonel hâle gelir (Petanjek ve ark., 2008). Erken çocukluk dönemi, beynin en fazla esneklik ve öğrenme kapasitesine sahip olduğu dönemdir (Bourgeois ve Rakic, 1993; Hensch, 2005).

Beyin gelişiminde kritik dönemler vardır. Bu dönemlerde çevresel uyarılar, beynin olgunlaşması ve doğru şekilde gelişmesi için özellikle önemlidir. Basit sinir devreleri daha erken, karmaşık devreler ise daha sonraki dönemlerde bu uyarılara duyarlıdır. Bu durum beynin verimli çalışmasını sağlar ve insanın çevresine uyum göstermesine yardımcı olur. Beynin çevresel koşullara uyum gösterebilecek düzeyde esnek olması, insan türünün adaptasyonunu, hayatta kalma olasılığını ve evrimsel olarak başarılı gelişimini destekleyen temel bir mekanizmadır (Fox vd., 2010; Magill vd., 2013). Bu kritik dönemde yeterli çevresel uyarı sağlanmazsa, beynin potansiyeli tam olarak gelişmeyebilir (Bick ve Nelson, 2016). Öte yandan, bu dönemde müzikle etkileşim kurmak, sinaptik bağlantıların güçlenmesini sağlar ve öğrenme yollarının kalıcı biçimde şekillenmesine yardımcı olur. Müzik eğitimi, auditory ve sensorimotor ağlar arasındaki bağlantıları güçlendirir ve beyin plastisitesine katkıda bulunur. Pratik süresi arttıkça, bu bağlantılardaki gelişmeler de artar ve müziğin beyin yapısında kalıcı ve anlamlı değişiklikler sağlar (Li vd., 2018).

Düzenli müziksel etkinliklerin, çocukların beyin gelişimini desteklediği ve özellikle dil ile işitsel bölgelerde yapısal değişikliklere yol açarak dil gelişimini hızlandırdığı gösterilmiştir. Ayrıca, müzik eğitiminin beynin sağ ve sol yarımküreleri arasındaki iletişimi güçlendirdiği ve duygusal farkındalığı artıran yapısal değişikliklerle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bu süreçler, çocukların duygusal ve sosyal etkileşim becerilerini de olumlu

yönde geliştirmektedir (Habibi vd., 2018). Bu nedenle müzik eğitimi, erken yaşlarda yalnızca sanatsal bir etkinlik olarak değil, aynı zamanda bilişsel ve duygusal gelişimi destekleyen nörolojik bir araç olarak değerlendirilmelidir.

Müzik eğitimi, beynin yapısal ve fonksiyonel organizasyonunu uzun süreli ve kalıcı biçimde değiştirebilir ve bu değişiklikler hem çocuklarda hem de erişkinlerde bilişsel fonksiyonların gelişimini destekler. Müziksel etkinlikler aynı zamanda çocuklarda motor gelişimi de güçlendirir. Ritimle yapılan hareket çalışmaları, beyinde denge ve hareket koordinasyonundan sorumlu serebellum ile hareket planlamasını sağlayan motor korteks arasında güçlü bağlantılar kurulmasını sağlar, bu da çocuğun bedenini daha iyi tanımasına, kas kontrolünü geliştirmesine ve çevresiyle daha uyumlu etkileşim kurmasına yardımcı olur (Wan ve Schlaug, 2010). Ayrıca müzik yapmak, yaşlılıkta bilişi koruyabilir ve nöroplastisiteyi teşvik ederek çeşitli nörolojik ve bilişsel bozuklukların tedavisinde etkili bir araç olarak kullanılabilir. Müzik eğitiminin hem yakın hem de uzak transfer etkileri gözlemlenmekle birlikte, bu etkilerin hangi koşullarda ve hangi derecede ortaya çıktığı hâlen tam olarak netleşmemiştir. Sonuç olarak, müzik eğitimi, beynin esnekliğini artıran ve bilişsel ile motor becerileri geliştiren güçlü bir araçtır.

Erken çocukluk döneminde kazanılan müziksel deneyimlerin etkisi yalnızca o dönemde sınırlı kalmaz; yaşam boyunca bilişsel yeteneklerin gelişimi ve korunmasına da katkıda bulunabilir. Hanna-Pladdy ve MacKay (2011) çalışmalarına göre, uzun süreli müzikle uğraşmak, yaşla birlikte bilişsel fonksiyonlarda belirgin iyileşmeler ve koruyucu etkiler sağlar. Düzenli olarak müzik aktivitelerine katılan bireylerin genellikle daha yaratıcı, empatik ve dikkatli oldukları; stresle başa çıkma, duygusal düzenleme ve bilişsel esneklik gibi alanlarda daha gelişmiş beceriler sergiledikleri gözlemlenmiştir. Bu bulgular, müzik eğitiminin ve sürekli katılımın, bireylerin yaşam boyu bilişsel ve duygusal gelişimini destekleyerek, yaşlılıkta bilişsel sağlığın korunmasında potansiyel bir koruyucu faktör olduğunu göstermektedir (Hanna-Pladdy ve MacKay, 2011).

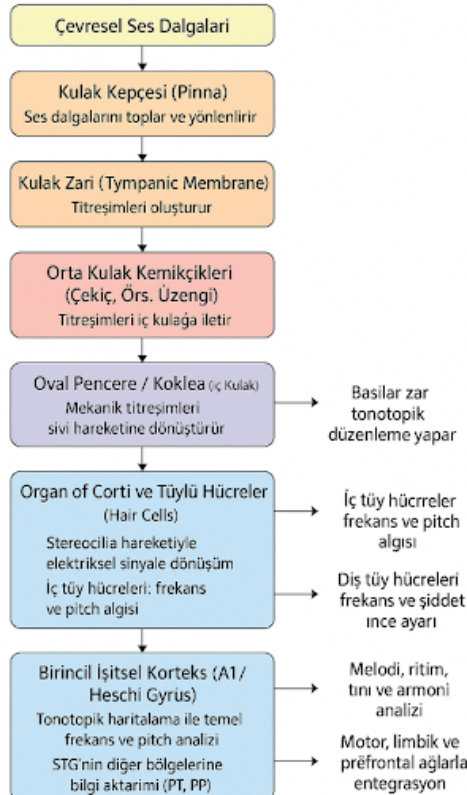
Özetlemek gerekirse müziğin, insan beyninin işleyişini derinlemesine etkileyen güçlü bir biyolojik süreç olduğu söylenebilir. Müziğin beyin üzerindeki etkilerini anlamak, insan gelişiminin temel mekanizmalarını anlamakla eşdeğerdir. Bu doğrultuda, erken çocuklukta müzik eğitimi, nörobilimsel bulgularla desteklenen etkili bir öğrenme ve gelişim stratejisi olarak değerlendirilebilir. Müzik bireyin beynini, kimliğini ve sosyal etkileşim becerilerini dönüştürme kapasitesine sahip bir araçtır; bu yüzden eğitim politikalarında yalnızca sanatsal bir değer olarak değil, aynı zamanda nörobiyolojik öneme sahip bir araç olarak yer almalıdır.

2. Müziğin Beyinde İşlenmesi: İşitsel Sistem ve Algı Süreci

Müziğin, beynin farklı düzeylerdeki ağlarını harekete geçiren çok katmanlı bir bilişsel etkinlik olduğu artık nörobilimsel olarak kanıtlanmıştır. Müziğin beyin üzerindeki etkilerini anlamak, insan gelişiminin temel mekanizmalarını çözümlmek açısından da önem taşır. Bu doğrultuda müziğin beyinde nasıl işlendiğini anlamak, hem müzik eğitimi hem de nöroplastisite süreçlerinin bilimsel temelini ortaya koyar.

2.1. İşitsel Sistemin Temelleri ve Dönüşüm Aşamaları

İşitme sistemi, çevredeki ses dalgalarını algısal temsillere dönüştürme yeteneğine sahiptir. Bu sistem, havadaki basınç değişimlerini konuşma, müzik veya çevresel sesler gibi anlamlı sinyallere çevirir. İnsan işitme sistemi yaklaşık 20 Hz ile 20.000 Hz arasındaki frekanslara yanıt verebilir. Bir sesin perdesi (*pitch*) frekansla, şiddeti (*intensity*) ise dalga genliğiyle ilişkilidir (Bear vd., 2016; Moore, 2013).



Şekil 2: Sesin Algılanması Süreci

Sesin algılanması süreci, dış ortamdan gelen titreşimlerin kulak kepçesi (*pinna*) tarafından toplanmasıyla başlar. Ses dalgaları kulak zarına çarparak zarın titreşmesine neden olur. Bu titreşimler, orta kulaktaki üç küçük kemikçik - çekiç (*malleus*), örs (*incus*) ve üzengi (*stapes*) - aracılığıyla iç kulağa iletilir. Üzengi kemiği, titreşimleri piston benzeri bir hareketle iç kulaktaki oval pencereye aktarır (Bear vd., 2016).

İç kulakta yer alan koklea (salyangoz biçimindeki yapı), bu mekanik titreşimleri elektriksel sinyallere dönüştürür. Koklea içinde bulunan basılar zarı, farklı frekanslara duyarlıdır. Zarın belirli bölgeleri farklı frekanslara en güçlü yanıtı verir. Yüksek frekanslar bazal bölgede, düşük frekanslar ise apikal bölgede algılanır. Bu düzenleme tonotopi olarak adlandırılır (Bear vd., 2016; Moore, 2013).

Koklea içinde yer alan Organ of Corti, ses enerjisini sinirsel uyarılara dönüştüren temel yapıdır. Buradaki tüylü hücreler (hair cells), ses dalgalarını elektriksel sinyallere çeviren duyu reseptörleridir. Bu hücrelerin üzerindeki stereosilialar, basılar zarının hareketiyle bükülür ve iyon kanallarının açılmasına neden olur. Böylece hücre membranında elektriksel bir değişim oluşur ve sinyaller işitsel sinir (nervus cochlearis) aracılığıyla beyne iletilir (Bear vd., 2016).

İç tüy hücreleri sesin algılanmasından doğrudan sorumluyken, dış tüy hücreleri sesin frekans ve şiddetine göre hassas ayarlamalar yaparak sesi “ince ayara” tabi tutar. Bu sayede ses, hem mekanik hem de nörofizyolojik bir filtreleme sürecinden geçerek daha net biçimde algılanır (Bear vd., 2016; Kiriş, 2021).

2.2. Merkezi İşitsel Süreçler

Kokleada başlayan sinirsel yanıtlar, beyin sapındaki bir dizi çekirdekten geçer. Bunlar arasında dorsal ve ventral koklear çekirdekler, üst zeytin kompleksi (superior olive) ve alt tepelik (inferior colliculus) yer alır. Ardından sinyaller, talamustaki medial genikulat çekirdeğe (MGN) ulaşır ve oradan temporal lobda yer alan birincil işitsel kortekse (A1; Primary Auditory Cortex) iletilir (Bear vd., 2016; Kolb ve Whishaw, 2015).

Beyin, sesleri iki temel yolla kodlar: birincisi, frekansın kokleada işlendiği konuma göre yer kodu (place code); ikincisi ise nöronların ses dalgalarıyla faz kilitleme (phase locking) yoluyla senkronize olmasıdır (Bear vd., 2016). Bu çift kodlama sistemi, beynin hem sesin frekansını hem de perdesini ayırt etmesini sağlar.

2.3. Müziğin Beyinde İşlenmesi

Müziğin dinlenmesi, icra edilmesi ve hatırlanması, beynin birçok bölgesinin eşzamanlı olarak etkinleşmesini gerektirir. Bu süreç, dağıtılmış bir işleme (distributed processing) yapısı içinde gerçekleşir; yani tek bir bölge değil, birden fazla sinir ağı koordinasyon hâlinde çalışır (Levitin, 2011).

Beyin, müziğin temel özelliklerini - perde, tempo, tını, ritim ve süre-analiz etmek için özel özellik dedektörleri (feature detectors) kullanır (Levitin, 2011). Bu işlevsel ayrışma sayesinde her müziksel özellik farklı bir nöral sistemde işlenir. Örneğin, superior temporal gyrus tınları ayırt etmede, Broca alanı ise müzikteki yapısal düzeni ve zamanlamayı analiz etmede rol oynar (Kolb ve Whishaw, 2015; Levitin, 2011).

Fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fNIRS), beynin kortikal bölgelerindeki oksijenlenme değişimlerini ölçerek sinirsel aktiviteyi takip eden non-invaziv bir yöntemdir (Ferrari ve Quaresima, 2012). Bu yöntem, özellikle müzik dinleme ve çalma süreçlerinde, prefrontal korteks başta olmak üzere farklı beyin bölgelerinin aktivasyonunu incelemeye olanak sağlar. Çolakoglu (2025) tarafından derlenen araştırmalar, fNIRS kullanılarak yapılan çalışmalarda müzik deneyiminin öğrencilerin dikkat, çalışma belleği, kendini kontrol etme ve duygusal süreçleri üzerinde belirgin ve olumlu etkiler yarattığını göstermektedir.

2.3.1. Hemisferik Uzmanlaşma

Beyin yarımkürelerinin belirli bilişsel ve algısal işlevlerde farklılaşması, “hemisferik uzmanlaşma” olarak adlandırılır (Hartwigsen vd., 2021). Bu kavram, her iki yarımkürenin müziksel bilgi işlemeyi farklı yollarla gerçekleştirdiğini, ancak birlikte bütüncül bir müzik deneyimi oluşturduğunu ortaya koyar. Müziğin yalnızca sağ yarımkürede işlendiği yönündeki klasik görüş artık geçerliliğini yitirmiştir. Güncel nörobilimsel araştırmalar, her iki yarımkürenin müzik işleme sürecinde farklı ancak tamamlayıcı işlevler üstlendiğini göstermektedir (Mišić vd., 2018; Zatorre, 2015). Sol yarımküre, ritim, zamanlama ve müziksel sözdizimini işler; bu süreçler, konuşma ile ilişkili alanlarla örtüşür ve motor planlama ile koordinasyon mekanizmalarıyla etkileşim hâlinindedir (Nan ve Friederici, 2013; Tervaniemi vd., 2000). Sağ yarımküre ise perde algısı, melodi üretimi ve tını ayırt etmede daha etkindir; bu yarımküre, melodi ve spektral çözünürlük açısından kritik öneme sahip olup estetik ve duygusal müzik deneyiminin temelini oluşturur (Hyde vd., 2008; Johnsrude vd., 2000; Kolb ve Whishaw, 2015; Levitin, 2011).

Bu işlevsel farklılaşma, müziğin hem bilişsel (ritim, yapı, zamanlama) hem de duygusal (melodi, perde, tını) boyutlarının beyinde nasıl bütünleştiğini anlamak açısından önemli bir nörobiyolojik çerçeve sunar.

2.3.2. Müzik ve Beyin Ağları

Müziğin beyin işlevleri üzerindeki etkisi, farklı nöral ağların koordineli çalışmasıyla ortaya çıkar. Ritim ve motor sistem açısından, beyincik (cerebellum) ve bazal gangliyonlar ritim ve tempo algısında merkezi bir rol oynar; bu yapılar, motor planlama ve müziksel zamanlamayı entegre ederek hareketle işitsel algı arasında senkronizasyon sağlar (Levitin, 2011; Mišić vd., 2018; Zatorre, 2015). Bellek ve beklenti süreçlerinde ise hipokampus ve alt frontal bölgeler öne çıkar; bu alanlar, müziksel yapıların tanınması, kalıpların hatırlanması ve müziksel beklentilerin oluşumunda işlev görür (Levitin, 2006; Okada vd., 2010; Peelle vd., 2010). Müziğin duygusal ve ödül boyutu ise amigdala, nükleus akkumbens ve ventral striatum tarafından yönetilir. Müzik dinleme sırasında bu yapılarda dopamin salınımı artar; bu durum bireyde zevk, motivasyon ve öğrenme süreçlerini güçlendirir (Levitin, 2011; Zatorre, 2015).

Bu işlevsel ağların etkileşimi, müziğin hem bilişsel hem de duygusal düzeyde kapsamlı bir deneyim sunmasını sağlar. Böylece müzik, beyin içinde duygusal, motor ve bilişsel sistemleri bütünleştiren çok boyutlu bir nörobiyolojik olgu hâline gelir (Levitin, 2006; Zatorre, 2015).

3. Zihinsel İmgeleme ve Müzik Algısı

Dışsal bir ses olmadan zihinde müzik duyma deneyimi işitsel zihinsel imgeleme (auditory imagery) olarak adlandırılır. Araştırmalar, gerçek dinleme ile zihinsel imgelemenin benzer beyin bölgelerini etkinleştirdiğini göstermektedir. Tanıdık bir melodiyi düşünmek bile işitsel korteksin aktif hale gelmesini sağlar (Küssner vd., 2023).

Sesin işitilmesi, mekanik enerjinin kokleada elektriksel sinyallere dönüştürülmesiyle başlar. Bu sinyaller, beyindeki tonotopik haritalar aracılığıyla çözülür ve çok katmanlı bir sinirsel işleme sürecine girer. Beyin, bu sinyalleri perde, ritim, tını, duygu ve bellek gibi çok boyutlu bileşenlere ayırarak anlamlandırır. Müziksel algı, beynin hem duygusal hem de bilişsel düzeydeki en geniş ağlarını harekete geçirir; bu da müziğin insan deneyimindeki evrensel ve dönüştürücü etkisini açıklar (Bear vd., 2016; Kolb ve Whishaw, 2015; Levitin, 2011; Moore, 2013;).

Müzik, insan beyninin duygusal, motor, duygusal ve bilişsel sistemlerini bütünleştiren nörobiyolojik bir olgudur. Nöroplastisite yoluyla sinirsel ağları

yeniden şekillendirir, dopamin ve oksitosin salınımıyla duygusal dengeyi güçlendirir, sosyal bağları derinleştirir. Çocukluk döneminden yaşlılığa kadar bilişsel dayanıklılığı artıran müzik, nörolojik rehabilitasyonda da güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Çalgı eğitimi ve müzik, çocukların beyin gelişimini destekleyen etkili ve çok yönlü araçlar olarak öne çıkmaktadır (Şendurur ve Barış, 2002; Torun, 2022). Buna karşın, müzik eğitiminin genel olarak zihinsel gelişime katkıda bulunabileceğini göstermesine rağmen, çocuklarda doğrudan ve mucizevi zihinsel beceri artışları sağlamadığını belirten çalışmalarda bulunmaktadır (Ayata ve Aşkın, 2009).

Sonuç olarak, müzik yalnızca bir sanat biçimi olmanın ötesinde, insan beyninin evrimsel olarak şekillenmiş bir uzantısı ve bilişsel gelişimi destekleyen dinamik bir araç olarak değerlendirilebilir. Müzik, hem çocuklukta öğrenme süreçlerini ve bilişsel yetkinlikleri güçlendirirken, hem de yaşlılıkta veya nörodejeneratif hastalık durumlarında beynin işlevlerini koruma ve yeniden yapılandırma kapasitesine katkıda bulunabilir. Gelecekteki araştırmalar, müzikle tetiklenen beynin kendini yeniden organize etme ve geliştirme yeteneğinin bu farklı yaşam evrelerinde uzun vadede hangi etkileri sağladığını daha ayrıntılı biçimde ortaya koyacak; böylece müzik eğitime ve terapötik uygulamalara dair bilimsel temelli stratejilerin geliştirilmesine imkân tanyacaktır.

Kaynakça

- Ayata, E., & Aşkin, C. (2009). Müziğin beynin bilişsel fonksiyonlarına olan etkisi. *İTÜ Dergisi / B*, 5(2).
- Baird, A., & Samson, S. (2015). Music and dementia. In E. Altenmüller, S. Finger, & F. Boller (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 217, pp. 207–235). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.028>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.
- Bellier, L., Llorens, A., Marciano, D., Gunduz, A., Schalk, G., Brunner, P., & Knight, R. T. (2023). Music can be reconstructed from human auditory cortex activity using nonlinear decoding models. *PLoS Biology*, 21(8), e3002176. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002176>
- Bick, J., & Nelson, C. A. (2016). *Early adverse experiences and the developing brain. Neuropsychopharmacology*, 41(1), 177–196. <https://doi.org/10.1038/npp.2015.252>
- Bourgeois, J. P., & Rakic, P. (1993). Changes of synaptic density in the primary visual cortex of the macaque monkey from fetal to adult stage. *The Journal of Neuroscience*, 13(7), 2801–2820. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.13-07-02801.1993>
- Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(4), 179–193. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.02.007>
- Çolakoglu, E. A. (2025). Müziğin beyin üzerindeki etkileri: fNIRS çalışmalarının literatür derlemesi. *LOKUM Sanat ve Tasarım Dergisi*, 3(2), 386–412.
- Ferrari, M., & Quaresima, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *NeuroImage*, 63(2), 921–935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.049>
- Fox SE, Levitt P, Nelson CA (2010). How the timing and quality of early experiences influence the development of brain architecture. *Child Dev* 81: 28–40. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2009.01380.x>
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of neuroscience*, 23(27), 9240–9245. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003>
- Griffiths, T. D., & Warren, J. D. (2002). The planum temporale as a computational hub. *Trends in Neurosciences*, 25(7), 348–353. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)02191-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)02191-4)

- Gerry, D., Unrau, A., & Trainor, L. J. (2012). Active music classes in infancy enhance musical, communicative and social development. *Developmental science*, 15(3), 398-407. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01142.x>
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Veiga, R., Joshi, A. A., Leahy, R. M., ... & Damasio, H. (2018). Childhood music training induces change in micro and macroscopic brain structure: Results from a longitudinal study. *Cerebral Cortex*, 28(12), 4336-4347. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx286>
- Hall, D. A., & Plack, C. J. (2009). Pitch processing sites in the human auditory brain. *Cerebral Cortex*, 19(3), 576-585. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn108>
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, 25(3), 378-386. <https://doi.org/10.1037/a0021895>
- Hartwigsen, G., Bengio, Y., & Bzdok, D. (2021). How does hemispheric specialization contribute to human-defining cognition? *Neuron*, 109(13), 2075-2090. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.04.024>
- Hensch, T. K. (2005). Critical period mechanisms in developing visual cortex. *Current Topics in Developmental Biology*, 69, 215-237. [https://doi.org/10.1016/S0070-2153\(05\)69008-4](https://doi.org/10.1016/S0070-2153(05)69008-4)
- Huttenlocher PR, de Courten C, Garey LJ, Van der Loos H (1982). Synaptogenesis in human visual cortex—evidence for synapse elimination during normal development. *Neurosci Lett* 33: 247-252. [https://doi.org/10.1016/0304-3940\(82\)90379-2](https://doi.org/10.1016/0304-3940(82)90379-2)
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3019-3025. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009>
- Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2579-2594. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp008>
- Jacobsen, J.-H., Stelzer, J., Fritz, T. H., Chételat, G., La Joie, R., & Turner, R. (2015). Why musical memory can be preserved in advanced Alzheimer's disease. *Brain*, 138(8), 2438-2450. <https://doi.org/10.1093/brain/awv135>
- Johnsrude, I. S., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2000). Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, 123(1), 155-163. <https://doi.org/10.1093/brain/123.1.155>
- Kaas, J. H., & Hackett, T. A. (2000). Subdivisions of auditory cortex and processing streams in primates. *Proceedings of the National Academy of*

- Sciences of the United States of America, 97(22), 11793–11799. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.22.11793>
- Kreutz, G., Bongard, S., Rohrmann, S., Hodapp, V., & Grebe, D. (2004). Effects of choir singing or listening on secretory immunoglobulin A, cortisol, and emotional state. *Journal of Behavioral Medicine*, 27(6), 623–635. <https://doi.org/10.1007/s10865-004-0006-9>
- Kiriş, N. (2021). Görsel olmayan duyu sistemleri. İçinde N. T. Yazıhan (Ed.), *Fizyolojik Psikoloji* (ss. 223–271). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2015). *Fundamentals of human neuropsychology* (7th ed.). Worth Publishers.
- Küssner, M. B., Taruffi, L., & Floridou, G. A. (Eds.). (2023). *Music and mental imagery*. London and New York: Routledge.
- LaMantia AS, Rakic P (1994). Axon overproduction and elimination in the anterior commissure of the developing rhesus monkey. *J Comp Neurol* 340: 328–336. <https://doi.org/10.1002/cne.903400304>
- Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. New York: Dutton.
- Levitin, D. J. (2011). *The World in Six Songs: How the Musical Brain Created Human Nature*. New York: Plume.
- Levitin, D. J. (2013). Absolute memory for pitch: A comparative replication of Levitin's 1994 study in six European labs. *Musicae Scientiae*, 17(3), 350–355. <https://doi.org/10.1177/1029864913490633>
- Li, Q., Wang, X., Wang, S., Xie, Y., Li, X., Xie, Y., & Li, S. (2018). Musical training induces functional and structural auditory-motor network plasticity in young adults. *Human brain mapping*, 39(5), 2098–2110. <https://doi.org/10.1002/hbm.23989>
- Magill CR, Ashley GM, Freeman KH (2013). Water, plants, and early human habitats in eastern Africa. *Proc Natl Acad Sci USA* 110: 1175–1180. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209405109>
- McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. *Physiological Reviews*, 87(3), 873–904. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2006>
- Mišić, B., Betzel, R. F., Griffa, A., De Reus, M. A., He, Y., Zuo, X. N., ... & Zatorre, R. J. (2018). Network-based asymmetry of the human auditory system. *Cerebral Cortex*, 28(7), 2655–2664. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy101>
- Moore, B. (2013). *An introduction to the psychology of hearing* (6th ed.). Brill.

- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-Term Music Training Enhances Verbal Intelligence and Executive Function. *Psychological Science*, 22(11), 1425-1433. <https://doi.org/10.1177/0956797611416999>
- Nan, Y., & Friederici, A. D. (2013). Differential roles of right temporal cortex and Broca's area in pitch processing: evidence from music and Mandarin. *Human brain mapping*, 34(9), 2045-2054.
- Norman-Haignere, S., Kanwisher, N. G., & McDermott, J. H. (2015). Distinct cortical pathways for music and speech revealed by hypothesis-free voxel decomposition. *Neuron*, 88(6), 1281-1296. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.11.035>
- Okada, K., Rong, F., Venezia, J., Matchin, W., Hsieh, I-H., Saberi, K., Serences, J. T., & Hickok, G. (2010). Hierarchical organization of human auditory cortex: Evidence from acoustic invariance in the response to intelligible speech. *Cerebral Cortex*, 20(10), 2486-2495. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp318>
- Olf, M., Frijling, J. L., Kubzansky, L. D., Bradley, B., Ellenbogen, M. A., Cardoso, C., Bartz, J. A., Yee, J. R., & Van Zuiden, M. (2013). The role of oxytocin in social bonding, stress regulation and mental health: An update on the moderating effects of context and interindividual differences. *Psychoneuroendocrinology*, 38(9), 1883-1894. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.06.019>
- Patterson, R. D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I. S., & Griffiths, T. D. (2002). The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron*, 36(4), 767-776. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01060-7](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01060-7)
- Peelle, J. E., Johnsrude, I. S., & Davis, M. H. (2010). Hierarchical processing for speech in and beyond the human auditory cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 1735. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00051>
- Petanjek, Z., Judaš, M., Kostović, I., & Uylings, H. B. M. (2008). Lifespan alterations of basal dendritic trees of pyramidal neurons in the human prefrontal cortex: A layer-specific pattern. *Cerebral Cortex*, 18(4), 915-929. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm124>
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257-262. <https://doi.org/10.1038/nn.2726>
- Schellenberg, E. G. (2004). Music Lessons Enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x>
- Schlaug, G., Marchina, S., & Norton, A. (2008). From singing to speaking: Why singing may lead to recovery of expressive language function in pa-

- tients with Broca's aphasia. *Music Perception*, 25(4), 315-323. <https://doi.org/10.1525/MP.2008.25.4.315>
- Schlaug, G., Norton, A., Overy, K., & Winner, E. (2005). Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060 (1), 219-230. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.015>
- Seither-Preisler, A., Parncutt, R., & Schneider, P. (2014). Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy, and attentional skills in children. *Journal of Neuroscience*, 34(33), 10937-10949. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5315-13.2014>
- Şendurur, Y., & Barış, D. A. (2002). *Müzik eğitimi ve çocuklarda bilişsel başarı. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1). <https://doi.org/10.17693/yunus.21364>
- Tarr, B., Launay, J., & Dunbar, R. I. M. (2014). Music and social bonding: "Self-other" merging and neurohormonal mechanisms. *Frontiers in Psychology*, 5, 1096. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01096>
- Tervaniemi, M., Medvedev, S. V., Alho, K., Pakhomov, S. V., Roudas, M. S., Van Zuijen, T. L., et al. (2000). Lateralized automatic auditory processing of phonetic versus musical information: A PET study. *Human Brain Mapping*, 10(2), 74-79. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0193\(200006\)10:2<74::AID-HBM30>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0193(200006)10:2<74::AID-HBM30>3.0.CO;2-2)
- Thaut, M. H., McIntosh, G. C., Rice, R. R., Miller, R. A., Rathbun, J., & Brault, J. M. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson's disease patients. *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 11(2), 193-200. <https://doi.org/10.1002/mds.870110213>
- Turun, Ş. (2022). Müzik ve beyin gelişimi. *Türkiye Klinikleri Pediatric Neurology-Special Topics*, 3(1), 69-75.
- Wan, C. Y., & Schlaug, G. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *The Neuroscientist*, 16(5), 566-577. <https://doi.org/10.1177/1073858410377805>
- Warrier, C., Wong, P., Penhune, V., Zatorre, R., Parrish, T., Abrams, D., & Kraus, N. (2009). Relating structure to function: Heschl's gyrus and acoustic processing. *Journal of Neuroscience*, 29(1), 61-69. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3489-08.2009>
- Wessinger, C. M., VanMeter, J., Tian, B., Van Lare, J., Pekar, J., & Rauschecker, J. P. (2001). Hierarchical organization of the human auditory cortex revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of cognitive neuroscience*, 13(1), 1-7. <https://doi.org/10.1162/089892901564108>

- Vuoskoski, J. K., & Eerola, T. (2017). The pleasure evoked by sad music is mediated by feelings of being moved. *Frontiers in Psychology*, 8, 439. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00439>
- Yuvacı, E. (2023). Hızlı ve yavaş tempolarda icra edilen belirli Klasik Türk Müziği usullerinin insan otonom sistemi üzerindeki etkileri. *RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*(34), 863-897. <https://doi.org/10.29000/rumelide.1317107>
- Zatorre, R. J. (2015). Musical pleasure and reward: Mechanisms and dysfunction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 202-211. <https://doi.org/10.1111/nyas.12677>
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature reviews neuroscience*, 8(7), 547-558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature Neuroscience*, 15(7), 528-536. <https://doi.org/10.1038/nn.3045>

