Türk Psikoloji Yazıları, Aralık 2024, *27*(53), 01-15 DOI: 10.31828/tpy13019963

Sinestezi: Davranışsal ve Gelişimsel Açıdan Bir İnceleme

Gizem Saray[1] Hakan Çetinkaya[2]
Radboud Üniversitesi Yaşar Üniversitesi

Özet

Sinestezi, beyinde duyusal veya bilişsel yolaktaki bir uyaranın, uyarılmamış ikinci bir yolakta birtakım ilişkili deneyimlere yol açtığı istemsiz ve kendine özgü özellikleri içeren algısal durumdur. Bu olgu doğuştan gelmekte ve genler tarafından nesilden nesile aktarılma eğilimi göstermektedir. Neonatal Sinestezi Hipotezi' nin temelde beyin gelişimini açıklayarak, herkesin sinestet olarak dünyaya geldiği ardından hayat boyu gelişimsel süreçte bireylerin birbirinden farklılaştığını savunmaktadır. Ayrıca sinestezinin nörobilişsel ve genetik mekanizmasını açıklayan ilk hipotez olarak kabul edilmektedir. Bu hipotez bağlamında sinestezi; bilişsel psikoloji literatürüne algı, bellek, yaratıcılık ve davranışsal öğrenme çalışmalarına öğrenme mekanizmaları kullanılarak dahil edilmektedir. Davranışsal öğrenme bağlamında sinestezinin sonradan öğrenilip öğrenilemeyeceği konusu da son zamanlarda uluslararası literatürde oldukça sık yer almakta ve tartışılmaktadır. Bu kapsamda incelendiğinde, hakkında halen tartışmalı iddialar olsa da, sinestezinin ancak kısa vadede öğrenilebilecek bir olgu olduğu görüşü desteklenmektedir. Bu bağlamda, derlemede **özellikle sinestezinin genetik ve davranışsal bileşenlerinin gelişimi** üzerinde durulmuştur. Makale boyunca temel olarak, sinestezide çeşitli gelişim evrelerini genetik, nörobilişsel ve davranışsal olarak üç bölüme ayırdık ve Neonatal Sinestezi Hipotezi' nin bu evreleri **açıklamaya nasıl katkı sağladığını ortaya koymayı amaçladık**. **İlk** iki bölümde Neonatal Hipotezi' nin diğer teorilerden genetik ve bilişsel olarak nasıl ayrıldığını, son bölümde ise davranışsal **öğrenme süreçleri ve sinestezi** arasındaki ilişkiyi inceleyerek gelecek araştırmalar için çeşitli öneriler sunduk. Bilindiği kadarıyla ulusal alanda ilk olma özelliğini taşıyan bu makale ile birlikte; Türkiye' de bilişsel psikoloji ve nörobilim alanlarında laboratuvar ortamında farklı türden sinestetlerde nörogörüntüleme teknikleri kullanılarak yürütelecek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Sinestezi, davranışsal öğrenme, neonatal hipotez, nörobiyoloji, genetik

Abstract

Synesthesia is an innate, involuntary, genuine and inherited perceptual condition in which a stimulus in one sensory or cognitive modality leads to related experiences in a second unstimulated modality in the brain. The Neonatal Synesthesia Hypothesis is accepted as the first theory that explains the genetic and neurocognitive mechanisms of synesthesia. It posits that basically everyone is born with synesthete, then individuals differ from each other in the developmental process throughout life. On the other hand, synesthesia relates cognitive psychology literature by including perception, memory, creativity and learning mechanisms. In some behavioural learning studies whether synesthesia can also be learned are discussed. When the literature is examined, it is supported that synesthesia can only be learned in the short term, even if there are still controversial claims about it. Within this scope, particularly the review emphasized the content of the development of genetic and behavioral components of synesthesia. We aimed to elucidate how Neonatal Synesthesia Hypothesis contributes to explaining various developmental stages in synesthesia. We divided these stages into three chapters genetic, neurocognitive, and behavioral respectively. While in the first two how Neonatal Hypothesis differentiates from the other theories based on the differences in genetic and cognitive mechanism, we scrutinized the interaction between learning processes and synesthesia in the last section. As far as known this is the first article nationally, and we think making a significant contribution to the fields of cognitive psychology and neuroscience in Turkey.

Keywords: Synesthesia, behavioural learning, neonatal synesthesia hypothesis, neurobiology, genetic

Yazışma Adresi: [1]Gizem Saray, Radboud Üniversitesi, Donders Beyin, Biliş ve Davranış Enstitüsü, Nijmegen, Hollanda, ORCID: 0000-0003-4818-7479, gizem.saray@donders.ru.nl
[2]Hakan Çetinkaya, Yaşar Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Psikoloji Bölümü, ORCID: 0000-0001-5585-8678, hakan.cetinkaya@yasar.edu.tr

Giriş

Bazı insanları diğerlerinden daha yaratıcı yapan faktörler bulunmaktadır. Tarih, yazılmaya başladığı andan günümüze kadar birçok yaratıcı fikirlere tanıklık etmiş, gelecek nesiller için rol model olacak kişiler yetiştirmiştir. Örneğin, 19 ve 20. yüzyıldan Alman opera besteci ve sanatçısı Richard Wagner (1813-1883), Hollandalı ressam Vincent Van Gogh (1853-1890), Rus yazar Vladimir Nabokov (1899–1977) ve Amerikan fizikçi Richard Feynman (1918–1988) ile 21. yüzyılın tanıdık isimlerinden Amerikan ressam Carol Steen ve müzisyen Pharrell Williams'ın hayatlarına yakından bakıldığında; tüm bu isimlerin öne çıkan ortak bir özelliğinin sinestezi olduğu görülebilir (Ione, 2009; Simner, 2019, s. 75).

Sinestezi, bir duyusal veya bilişsel kanalda (*modality*) meydana gelen uyarımın başka bir kanalda istemsiz deneyimlere yol açan ve genel nüfusun %4.4'ünü etkileyen algısal bir durum olarak tanımlanabilir (Sagiv, 2005; Simner, 2019, s.27; Simner ve ark., 2006; Harvey, 2013). Kelime kökü itibariyle, Yunanca "hissetmeme, his yokluğu" anlamına gelen "*anesthesia*" kelimesiyle aynı kökü paylaşmakta ve kelime anlamı olarak "duyuların birlikteliği" anlamına gelmektedir (Cytowic ve Eagleman, 2009, s.1; Cytowic, 2002, s.33). Yunanca, birlikte = *syn* + algılama = *aisthaesis* kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur (Cytowic ve Eagleman, 2009, s.2). Simner (2019) sinestezi terimini şu şekilde açıklar:

"Sinestezi, yalnızca dış dünyadan gelen geçici bilgilere değil, aynı zamanda bu bilgilerin beyne girerken kalıcı olarak yeniden düzenlenmesine atıfta bulunarak, zihnin gerçeklik boyutunu nasıl algıladığına dair ilgi çekici bilgiler sağlar. Bu algılamayı anlamak için insan beyninin sadece dünyayı gözlemleyen pasif bir cihaz olmadığını anlamak gerekir. Her insan beyni çevreden gelen sinyalleri belirli şekillerde sürekli olarak düzenler. Sinestezi, bu organizasyon farklılaştığında ortaya çıkan bir durumdur (s.28). Sinestetik olanlar bunu nadiren bir engel olarak görürler; bu nedenle, sinestezi çalışmak bir tedavi yöntemi bulmayı değil, beynin daha iyi anlaşılmasını amaçlar (Harvey, 2013). Bundan yola çıkarak, sinesteziyi karmaşık bir problem olarak değil, nörobilimin ileri sürdüğü en zor soruların bazılarına karmaşık bir cevap olarak görebiliriz."

Sinestezi durumu algısal yaşantıların oluşmasında birden fazla duyusal kanalın rol oynadığını göstermekte, başta algı olmak üzere imgeleme ve bellek süreçlerini de etkilediği bilinmektedir (Safran ve Sanda, 2015). Sinestezi, dünyaya ilişkin algısal yaşantının farklı bir bilişsel ve sinirsel düzenleme ile tümüyle o bireye özgü bir versiyonunun deneyimlenmesine izin verir. Sinestetik deneyimler eşzamanlı olarak ortaya çıkar; bu eşleşmelerde sinestetik deneyimi tetikleyen uyaranı tarif etmek için uyarıcı (*inducer*), sinestezinin meydana geldiği kanalda ortaya çıkan sinestetik yaşantıyı belirtmek için ise, eşzamanlı (*concurrent*) terimleri kullanılır (Ward ve Simner, 2003; Simner, 2018). Bir örnek olması için piyanoda çalınan bir melodi bir "uyarıcı" iken buna bağlı olarak ortaya çıkan yeşil renkte bir görsel yaşantı "eşzamanlı" olarak betimlenir. Bu örnekte ele alınan bir görsel-işitsel sinestezidir. Bu bakımdan sinestezi mekanizmasının anlaşılması bilgi işleme süreçlerinin mekanizmalarının ve normal algısal gelişimin açıklanması konularında önemli ipuçları sağlayabilmektedir. Sinestezi bireyin bilişsel işlemleme ve öğrenme ile ilgili davranış süreçleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu durum sinesteziyi bir yandan deneysel olarak çalışılması zor, diğer yandan ise, gerekli bir konu haline getirmektedir.

Sinestezi somut-duyusal deneyimlere yol açar ve farklı şekillerde ortaya çıkabilir (Grossenbacher ve Lovelace, 2001). Bu durum farklı sinestezi türlerinin olduğu anlamına gelmekte ve bu algısal durumların en az birini deneyimleyen kişilere "sinestet" denmektedir (Simner, 2019, s.27). Sinestetler çevrelerini olağandışı renk, tat, koku, dokunma ve diğer duyumlarla birlikte algılama eğilimindedir. Bir başka ifadeyle bir sinestet ses veya müziği dinlerken aynı zamanda fiziksel olarak dokunma hissi yaşantılayabilir (örn, ses-dokunma sinestezisi), müziğin tadını alabilir veya rengini görebilirken (ses-dokunma/renk sinestezisi) bir yazıyı okurken harfleri farklı renklerde algılayabilir (grafem-renk sinestezisi) (Ward ve Simner, 2020; Cytowic ve Eagleman, 2009, s.34). Örneğin, ressam Van Gogh'un ses-renk sinestezisine sahip olduğu, 1885 yılında piyano dersi alırken piyano hocası tarafından fark edilmiştir. Hocası, Van Gogh'un belirli notaları belirli renklerle eşleştirdiğini farketmiş, bu esnada göz bebeklerinin büyüdüğünü ve Gogh'un yüz ifadesinde gözle görülür değişmelerin ortaya çıktığını belirtmiştir (Voskuil, 2013).

Çoğunlukla bir tarz ya da bir yaklaşım biçimi olarak değerlendirilen sinestezi, belirli bir öğrenme yaşantısına gereksinim duyulmaksızın gelişen, kalıtsal olarak aktarılabilen ve hayat boyu devam eden bir özelliktir (Cytowic, 2002; s.67; Grossenbacher ve Lovelace, 2001). Doğuştan itibaren veya çocukluk döneminin erken evrelerinde ortaya çıktığı düşünülür (Meier, 2021). Normal duyusal algılama süreci ile sinestetik eşleşmeler benzerlik göstermesine rağmen (Harvey, 2013) bir çok yönüyle birbirinden ayrılır. Örneğin, görsel imgeleme ve imgesel belleğin belirli biçimleri sinesteziyi diğer algısal olgulardan ayırır. Sinestetik eşleşmelerin üç karakteristik özelliği vardır: (1) otomatiklik, (2) güvenilirlik ve (3) tutarlılık. İlk olarak, sinestetik eşleşmeler doğası gereği otomatiktir (Grossenbacher ve Lovelace, 2001). Sinestezi deneyimini önlemek için kişi kendisini zorlayamaz. Bu bakımdan, bireyin sinestetik tepkilerini kontrol ede-

bilmesi çok zordur (Dixon ve ark., 2000). Dolayısıyla, bireyin istemli kontrolü dışında meydana gelirler ve doğrudan engellenemezler. İkincisi, sinestetlere tetikleyici uyaranlar sunulduğunda güvenilir sinestetik tepkiler yaşarlar; bu tepkiler değiştirilemez ya da başka bir nörolojik durumla karıştırılmaz. Son olarak, bir bireydeki sinestetik çağrışımlar, sinestetler arasında değişkenlik olmasına rağmen aynı tip uyaranların (örn., belirli işitsel tonlar) aynı tür sinestetik tepkileri (örn., belirli renkler) ortaya çıkarma eğiliminde olduğundan zaman içinde tutarlılık gösterir (Ro ve I. M., 2013).

Sinestezinin Gelişimi ve Önerilen Çeşitli Hipotezler

Günümüzde sinestezi etiyolojisi halen tartışmalı bir konu olmakla birlikte genel anlamda sinestezinin nedenleri; yakınsal (*proksimal*) ve uzak (*distal*) nedenler arasında bir ayrım yaparak incelenmektedir (Ward, 2013). Sinestezide meydana gelen olağandışı deneyimlerin genetik ve beyindeki işlevsel ve yapısal farklılıklardan kaynaklanması yakınsal neden, çevresel farklılıkların belirtilen beyin seviyesindeki farklılıkları yaratması ile beraber uzak nedenler oluşmaktadır (Brang ve Ramachandran, 2011). Bu bağlamda sinestetik eşleşmelerin nasıl oluştuğu ve sinestet bir bireyin gelişim sürecinde bu özelliği nasıl koruduğu ile sinestet olmayan bireyler ve sinestetler arasındaki farklılığı açıklayan bir çok teori bulunmaktadır (Meier, 2021). Bunlar arasında, Neonatal sinestezi (*neonatal synesthesia*), Aşırı bağlantı (*hyperconnectivity*), Ketlemenin ortadan kalkması (*disinhibition- unmasking hypothesis*), Öğrenilmiş çağrışım (*learned association*), ve Farkındalık (*awareness*) teorileri sayılabilir. Bu yazı ile ele almayı amaçladığımız kuramsal yaklaşım günümüzde halen yaygın kabul gören ve Mauer, D ile Mauer, C (1988) tarafından öne sürülmüş olan Neonatal Sinestezi Hipotezi'dir (The *Neonatal Synaesthesia Hypothesis*) (bkz. Tablo 1).

Neonatal Sinestezi Hipotezi

Kuramın ana yordaması, esasen tüm insanların sinestet olarak doğduğu ve bunların çoğunun gelişim sırasında bu yeteneği kaybederek sinestet olmayan yetişkin bireyler olarak geliştikleri, ancak bazılarının bu yeteneği koruyarak yetişkin sinestet bireyler oldukları görüşüdür (Ward ve Simner, 2020). Modelin sinestetik eşzamanlı deneyimlerde kalıtsal geçişliliği (Baron-Cohen, 1996) ve sinestet olan ile olmayan bir birey arasındaki nörobiyolojik (Akt. Ward ve Simner, 2020) gelişimsel farklılıkları açıkladığı düşünülmektedir (Maurer ve Mondloch., 2006). Teoriye kanıt oluşturabilecek önermeler ise birkaç farklı gözlemden gelmektedir:

1. Bebeklik döneminde sinaptik bağlantılar daha fazladır. Sinaptik yoğunluk, doğumdan hemen sonra en yüksek düzeydedir ve duyusal kortikal bölgelerdeki sinaptik yoğunluk, diğer bölgeler ile kıyaslandığında daha erken aşamada yetişkin seviyelerine doğru geriler (Huttenlocher ve Dabholkar, 1997).

2. Bebeklik döneminde beyinde daha az alan özelleşmiştir. Bebeklik döneminde kortikal bölgeler çok daha az uzmanlaşmıştır ve özellikle, çocuk veya yetişkinlere kıyasla çoklu duyusal beyin alanlarına daha güçlü yanıt verebilirler. Örneğin, normalde konuşma üretmek için özelleşmiş bölgeler, yaşamın erken dönemlerinde görsel uyaranlara daha güçlü yanıt verir (Tzourio-Mazoyer ve ark., 2002).

Tablo 1. Sinestezi Etiyolojisi Hakkında Çeşitli Teoriler.

Teori	**Yazar**	**Açıklama**	**Ek Bilgiler**
Aşırı Bağlantı Teorisi	Ramachadran ve Hubbard	Sinestezi kortikal bölgeler arasındaki artmış aşırı bağlantı nedeniyle oluşur.	Bağlantı, büyük olasılıkla nöronların kortikal alanlardaki başarısız budamadan (*pruning*) kaynaklanır.
Disinhibisyonu Kaldırma Teorisi	Grossenbacher ve Lovelace	Kortikal alanlardaki ketleyici geri bildirim seviyesinin düşmesinden kaynaklanır.	Temel ketleyici kortikal geribildirim mekanizması tüm bireylerde mevcuttur.
Öğrenilmiş Çağrışım Teorisi	Calkin	Sinestetik bağlantılar yaşamın erken döneminde öğrenilmiş çağrışımlardan kaynaklanır.	Genetik bileşenlerin rolü ve kadınlardaki sık görülme oranı nedeniyle kabul görmez.
Farkındalık Teorisi	Cytowic	Sinestezi normal algısal sürecin bir parçasıdır ve bu durum beynimiz herkeste meydana geldiği varsayılan eşzamanlılığı (*concurrent*) baskılayamadığı için oluşur.	Limbik sistem en az hipokampus kadar önemlidir.
Neonatal Sinestezi Hipotezi	Maurer	Bu teoriye göre tüm insanların sinestezi ile doğar.	Halen araştırmacılar tarafından kabul görür ve tartışılır.

3. Yaşamın erken yıllarında sinestezi benzeri eğilimler gösterilir. Walker ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada 3-4 aylık bebekler, tiz tonda çalındığında yüksek ve sivri şekillere; pes tonda çalındığında ise alçak ve yuvarlak şekillere doğru yönelmişlerdir.

Bu derleme makalesi sinestezinin nörobiyolojik ve genetik doğurgularını neonatal hipotezi temelinde inceleyerek olgunun davranışsal öğrenme ile ilişkisini açıklamayı amaçlamaktadır. Konu kapsamında ilk olarak sinestezi olgusu, gelişimi ve öne sürülen farklı teoriler açıklanmış, ardından bu farklı teoriler neonatal sinestezi hipotezinden üretildiğinden dolayı sinestezinin bu hipotez bağlamında nörobiyolojik ve genetik sonuçlarına değinilmiş, son olarak sinestezi ile öğrenme arasındaki ilişki detaylı olarak incelenmiştir. Literatürde başta bilişsel süreçleri etkileyen algı, imgeleme, bellek gibi bir çok etmen olduğu bilinmesine rağmen (Hsu ve Bai, 2022; Kim, ve Jeong- Mo Park., 2017) sinestezi olgusu bu etmenler arasında henüz yer almamaktadır. Bu yönüyle bu makale alanyazındaki eksikliği kapatmayı hedeflemekle beraber ulusal düzeyde sinestezi olgusu hakkında yazılmış ilk makale olma özelliğini taşımaktadır.

Yöntem

Derlemeye dahil edilen makaleler Web of Science, Science Direct, PsychInfo,PsycArticles Google Akademik veritabanlarından "sinestezi", genetik, nörobiyoloji/nörogörüntüleme, öğrenme/davranışsal öğrenme, adaptasyon, neonatal hipotezi anahtar kelimeleri sinestezi kelimesi ile birlikte kullanılarak aratılmıştır. İlgili yayınlar son 25 yılda yayımlanan derleme ve araştırma makalelerinden oluşmaktadır. Alanda güncel metanaliz çalışmalarına rastlanmamış, bu nedenle metanaliz çalışmaları yetersiz olduğu gerekçesiyle dışlanmıştır. Çalışmaya dahil edilen makaleler kendi içlerinde alt konu başlıklarına ayrılarak sınıflandırılmıştır. Buna göre; neonatal sinestezi hipotezini inceleyen 9 makale, genel sinestezi teorilerini açıklayan 8 makale, öğrenme konulu 5 makale, genetik temelli 10 makale ve sinestezi-nörobiyoloji temelini inceleyen 20 makale ile birlikte toplam 52 makale çalışmaya dahil edilmiştir. Bunlara ek olarak yayın tarihi 2002-2019 yılları arasında değişen 7 kitap, 1 görüş yazısı (*opinion piece*), 1 araştırma raporu da çalışmada yer almaktadır.

Bulgular

Nörobiyolojik Kanıt ve Doğurgular

Neonatal Sinestezi Hipotezi bir çok açıdan ilgi çekicidir çünkü beyin gelişimini geniş bir veri aralığı sunarak açıklamaya çalışır (Ward ve Simner, 2020). Birtakım deneysel çalışmalar, ilkel korteksin yenidoğanda yetişkinlere göre daha az özelleştiğini göstermiştir. Örneğin, Sur ve Leamey (2001)'in yavru dağ gelincikleri ile yaptıkları çalışmada retinal aksonlar işitsel kortekse yeniden bağlandığında işitsel korteksin normalde olduğu gibi tonotopik şeritlerle (*tonotopic stripes*) değil, görsel kortekste görülen silindirik dişli çarklar şeklinde gelişmiş, işitsel kortekseki nöronlar daha sonra görsel uyaranlara duyarlı hale gelmiştir. Bu, birincil duyusal kortikal alanlardaki özelleşmenin ve organizasyonun, uyaranın doğası tarafından belirlendiğini göstermektedir. Ek olarak, Yaka ve arkadaşları (1999) tarafından yapılan bir diğer deneyde doğuştan görme engelli olan kedilerin işitsel korteksi görsel uyaranlara yanıt vermiştir. Normal sessiz uyaranların ortaya çıkışını (görsel uyarandan işitsel uyarana doğru) gösteren bu deneylerin yenidoğanlarda da görülebileceği ve sinestezinin altında yatan bir mekanizma olabileceği düşünülmektedir (Maurer ve Mondloch, 2005). Bir diğer kanıt sinirsel aktiviteyi kaydetme tekniklerinden gelmektedir. İlk olarak Wolff ve arkadaşları (1974) tarafından yenidoğan bebeklerin uyku örüntülerinin araştırıldığı çalışmada normal uykuda ve bütün frekansları içeren ses dalgası içeren uykuda uyuyan bebekler karşılaştırılmış ve sonuçlar, sürekli sabit olarak sunulan uyaran ile aralıklı tekrarlayan uyaran arasındaki etkileşim sabit uyaranın uykuyu tetikleyen etkileri açısından tartışılmıştır. Çalışma sonucunda yeni doğanlarda bileğin uyarılmasına bütün frekansları içeren ses dalgası eşlik ettiğinde artan bir somatosensoriyel uyarım ortaya çıkmıştır. Bu deneyler yeni doğanlarda modlar arası artan bir etkileşim olduğunu göstermek için yapılmıştır (bkz. Tablo 2).

Son yirmi yıldır yapılan nörobiyolojik temeller üzerine yürütülen bilimsel çalışmalar ise çeşitli beyin görüntüleme tekniklerinden yararlanmaktadır. Rouw ve Scholte'nin (2007) difüzyon tensör görüntüleme (DTI) kullanarak en yaygın sinestezi türü olan grafem-renk sinestetleri (Simner ve ark., 2006) ile yaptıkları çalışmada, sinestetlerin inferior temporal korteks'inde kontrol grubuna göre daha fazla miktarda beyaz madde görülmüştür. Bu bulgular sinestetler ve kontrol grubu arasında gri madde oranında da hacimsel bir değişim olup olmadığı sorusuna yol açmıştır. Bu amaçla yürüttükleri çalışmada Arend ve arkadaşları (2018) Voxel Morfometri (VBM) yöntemini kullanarak; kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, sinestetlerin sağ amigdalada ve sol beyincikte gri madde (GM)'de artış gösterdiğini bulmuştur.

İşlevsel bağlantı görüntüleme (fMRI) çalışmasında ise Sinke ve arkadaşları (2012), parietal lobun sinestetik deneyimlerde önemli bir rol oynadığı göstermiştir. İlgili çalışmada 18 sinestet ve 18 kontrol grubu ile yapılan fMRI görüntülemesi sonucunda, sinestetlerde harf/sözcük işlenmesinden sorumlu sol inferior parietal (IPL)

Tablo 2. Neonatal Sinestezi Hipotezi için Kanıtlar

Kanıtlar	Açıklama	Eleştiri
Anatomik ve Nörobiyolojik	Yenidoğan (*neonatal*) beynindeki plastisite sinesteziden kaynaklanıyor olabilir.	Yenidoğan beyni çapraz kortikal bağlantılara daha duyarlı olsa da bunun sinesteziye doğrudan neden olduğu söylenemez.
Nörol Aktivasyon Kaydı	Bir kanalın duyusal algıları, diğer kanallar tarafından desteklenir	Bu, sinesteziden ve kanallar arası algılamada geçişi karıştırabilir.
Davranışsal	Yenidoğanların duyusal bilgileri duyusal kanal boyunca karşılaştırabileceğini öne süren davranışsal kanıtlar vardır.	Doğrudan yenidoğan sinestezisine örnek oluşurduğu halen tartışmalıdır.

korteks (BA7) ve sağ hemisferde BA 18 ve BA 40 bölgelerinde artan aktivasyon görülmüştür. Ek olarak yapılan işlevsel bağlantı analizleri ise, sinestetlerde sol IPL bölgesi ile birincil/ikincil görsel alanlar (BA 18) arasında artan bir bağlantı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Farklı bir sinestezi türü ile yapılan bir çalışmada (Simner, 2019) 5-74 yaş aralığında olan renk-dokunma sinestetleri pürüzsüz dokuyu açık ve canlı renklerle ilişkilendirmiştir. Araştırma, pürüzsüzlük ve renk canlılığı arasındaki ilişkinin özellikle genç deneklerde bulunması, ancak yaşlı deneklerde bulunmaması ile dikkat çekmektedir. Bu, tıpkı neonatal sinestezi hipotezinin test ettiği gibi, sinestetik eşleşmelerin yenidoğan bireylerde fazla iken zaman içinde geliştikçe azalıyor olabileceğini göstermesi açısından oldukça önemlidir.

Gelişimsel Kanıt ve Doğurgular

Mauer ve Mondloch (2006) yeniden yorumladıkları Neonatal Sinestezi Hipotezine göre sinestezi, çoğu bireyde çocukluk döneminde kaybolan normal bir erken gelişim evresidir. Bebekler, yetişkin sinapslarının yaklaşık %150'si ile doğarlar ve sinaptik budama süreci, öğrenme ve gelişimin normal bir parçası olmalıdır. Örneğin, hayvan çalışmalarında, işitsel alanlardan görsel alanlara gelişimsel olarak azalan geçici bağlantılar olduğu görülmüştür (örneğin, Sur ve Leamey, 2001) ancak, bu tür yolaklar sinestezide korunabilmektedir. Brang ve Ramachandran (2011) yetişkin sinestetlerinde bulunan sinestezik eşleşmelerin çoğunun bebeklerde de bulunduğunu göstererek sinestezi genetik geçişli bir durum olarak tanımlar. Bu çalışma sinestezinin kalıtımsal temellerine ışık tutmakla beraber, literatürde bazı tutarsız bulgular da dikkat çekicidir. Örneğin, kimi çalışmalar sinestezinin sadece tek yumurta ikizleri arasında görüldüğüne işaret ederken (Smilek ve ark., 2002), diğerleri sinestetik olguların tek yumurta ikizleri dışındaki yakın akrabalar arasında da gözlemlendiğini ve bu oranın %40 civarında olduğuna vurgu yapmaktadır (Barnett ve Newell, 2008; Brang ve Ramachandran, 2008). Öte yandan sözkonusu çelişkili bulguların sinestezi türlerinin çeşitliliği ve sinestetik görüngünün kendisinin karmaşık bir doğaya sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilinen sinestezi türlerinin sayısı 128 ile 150 arasında değişmektedir (Cytowic, 2018, ss.53-54) ve bu, sinestezide gen çeşitliliğinin fazla olduğuna işaret etmektedir. Örneğin, en son Day (2017) tarafından 150 farklı sinestezi türü raporlanmıştır. Buna göre sinestezinin genetik temellerini açıklamaya yönelik olarak formüle edilen hipotezlerin birçoğu her bir sinestezi türünün belirli bir gen ya da gen grubu ile ilişkili olduğunu öne sürse de, yakın zamanlarda yapılan bir çalışma (Barnett ve Newell, 2008) her sinestezi türünün aynı aile içinde farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmada aynı ailenin farklı bireylerinde (birinci derece kardeş ve kuzenler) farklı sinestezi türleri görülmüştür. Bu noktada sorulabilecek bir soru sinestetik eğilimdeki bu farklılığı hangi faktörlerin belirlediğidir. Bosley ve Eagleman (2015) sayı-renk dizisine sahip tek ve çift yumurta ikizleri ile yaptıkları çalışmada, çevresel ve epigenetik faktörlerin bu sinestezi türünün oluşumuna katkı sağladığı ortaya atmışlardır. Onlara göre sayı-renk dizisi sinestezisi tek ve çift yumurta ikizlerinde farklı gelişim döngüsü göstermektedir. Örneğin tek yumurta ikizlerini incelersek, sinestetik çağrışımların erken evrede daha iyi ayırt edebiliriz. (Örn, eğer ikizlerden biri çocukken renkli rakamlı veya harfli oyuncaklara yönelirse, o bebek daha belirgin algısal çağrışımlar kurabilir). Genetik, bu ilişkileri geliştirmeye ve korumaya yönelik bir yatkınlık sağlar, ancak sinestezi her durumda oluşmayabilir. Bu hipotezin olası bir genetik desteği, DNA metilasyonu gibi epigenetik olayların, sayı-renk sinestezisi'nin altında yatan genlerin ekspresyonunu farklı bireylerde farklı şekilde değiştirebilmesidir. Nöral gelişim sırasında benzer aktivite modellerine sahip birden fazla gen, genomun daha önce bu durumla bağlantılı olan kısımlarıyla etkileşmektedir. Benzer bir genetik çalışma ses-renk sinestezisi deneyimleyen 3 farklı aile ile de yapılmıştır. Tilot ve arkadaşları (2018), bu üç ailenin genlerinin, beyin bölgeleri arasındaki yeni nöronal bağlantılar oluşmasında rol oynayan aksonogenez (*axonagenesis*) sürecine katkıda

bulunan ve nadir görülen genetik varyantlarla bağlantılı olduğunu göstermiştir. Buna göre varyantlar tercihen aksonogenez ve hücre göçü (*cell migration*) süreçlerine bağlı genlerin içinde konumlanır ve aileler arasında ortak bir tema (sinestezi türü) oluşturur. Bu çalışmayı temel alan Sobko (2023) ise ilerleyen yıllarda sinestezide "hücre göçü hipotezi" (*cell migration hypothesis*) ile; nöronların, sinestetik deneyimden sorumlu beyin bölgelerine aşırı göçü sonucunda bu bölgelerde mikroglia'ların sinaptik bağlantılarının bozulduğunu öne sürmüştür. Bunun sonucunda hasarlı sinaptik budama oluşmakta ve özellikle kortekste görsel ve işitsel alanlar arasındaki nöronal bağlantılar aşırı temas kurarak sinestezinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu sonuç, sinestezinin nörogelişimsel kökenleri hakkındaki çağdaş teorilerle uyumluluk göstermekte ve sinestezide rol oynayan genlerin analiz edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sinesteziden sorumlu DNA/gen bölgelerinin tespit edilmesine yönelik çalışmalar aile-bağlantı (family-linkage) genetiği olarak bilinen bir yöntem kullanarak yürütülmektedir. Bu çalışmalar esas olarak sinestezi ile bağlantılı genlerin bulunma olasılığının yüksek olduğu ilgili kromozom bölgelerini belirlemeye yöneliktir. 2010 yılında Julian Asher ve ekibi harfleri, sayıları, haftanın günlerini ve müziği renk ile deneyimleyen toplam 43 sinestet aile toplamış ve bu aile bireylerinin aynı genetik kökene sahip benzer bir sinestezi grubu oluşturabileceğini varsaymıştır. Ailelerden alınan DNA örnekleri analiz edildiğinde genomun belirli alanlarında sinesteziye neden olabileceği düşünülen bulgular saptanmış, ailelerin sinestezisinin 2a24 olarak bilinen bir bölgenin yakınında bulunan kromozom 2 ile bağlantılı olduğu görülmüştür (Akt. Simner, 2019; s.115). Tomson ve arkadaşları (2010) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ise renkli dizi sinestezisinden sorumlu lokusları (DNA dizisinin kromozom üzerindeki yeri) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, 16q12.2-23.1 numaralı lokusta 23 MB'lik bir bölgenin renkli dizi sinestezi türünü ortaya çıkarmak için özelleştiği bulunmuştur.

Sinestezi görüngüsüne yönelik genetik ve farmakolojik ilk açıklamaları sağlayan Brang ve Ramachandran (2008)'e göre sinestezi, melatonin hormon manipülasyonlarının serotonin düzeyleri üzerinde yarattığı etkiler ışığında; deneysel olarak ortaya çıkarılabilmekte veya söndürülebilmektedir. Serotonin, beyinde, serotonin üretimini engellemek için geri beslenen melatonine metabolize olur. Bu durum, beyinde korteksin mezensefalon çekirdeklerinde, hipotalamusta ve Purkinje hücrelerinde yüksek oranda bulunan, ağırlıklı olarak hem nöronların hem de oligodendrositlerin endoplazmik retikulumunda lokalize olan, bellek gibi yüksek beyin işlevlerinden sorumlu S1 (sigma-1) reseptörünün aktivasyonunu azaltır (Hayashi ve Su, 2005) ve sonuç olarak serotonin kaynaklı davranışsal uyarılmada rolü olan S2 reseptörlerini engelleyerek sinesteziye yol açar. Bu bakımdan beyinde bulunan S2a (S2 agonisti) reseptörü "sinestezi reseptörü" olarak da adlandırılır.

Buna göre, sinesteziyi çalışmak duyusal algı anlayışımızdaki mevcut boşluklara bir cevap olabilir. Örneğin, sinestezi çalışmaları ile farklı duyusal modalitelerin beyinde nasıl ve nerede etkileşime girdiği, farklı beyin alanları tarafından kodlanan öğelerin algı, karar ve eylem üretmek için nasıl birleştirildiğine bağlı olarak ortaya çıkabilen farklı duyusal modaliteler arasındaki belirsizlik ve karışıklık (The Binding Problem) durumları (Feldman, 2013) ve duyusal algının nasıl geliştiği daha iyi anlaşılabilir.

Davranışsal Kanıt ve Doğurgular

Neonatal sinestezi hipotezi sinestezinin doğuştan ve genetik geçişli olduğunu desteklemesinin (Bor ve ark., 2014) yanı sıra sinestetik uyarıcı-eşzamanlı/uyaran (inducer-concurrent) duyum eşleşmelerinin bireyler arasında doğuştan mı ya da yetişkinliğe eriştikçe öğrenilebilecek bir süreç mi olduğuna da dikkat çekmektedir (Ward ve Simner, 2020). Sinestezi 1800'lerde ilk kez incelendiğinde yaygın bir görüş, sinestetik deneyimlerin öğrenildiği ve ayrıca matematik, bellek ve hatırlama gibi görevlerde sinestetlere yardımcı olduğu yönündeydi. Ancak yaklaşık 25 yıl içerisinde sinestezi ve öğrenme araştırmaları hız kazanmaya başladı ve sonucunda öğrenmenin sinestezinin doğasından kaynaklanan bir sonuç olmadığı ve sinestezinin uzun süreli öğrenilemeyecek bir davranış olduğu bulgusu büyük ölçüde kabul görmeye başladı (Akt, Watson ve ark., 2014). Bu bulgulara genel öğrenme ilkeleri açısından bakacak olursak;

Sinestetik deneyimleri genel öğrenme açısından açıklamak zordur çünkü sinestetik deneyim karakteristikleri özgünlük göstermektedir, geniş ranja yayılan bir çeşitliliğe sahiptir ve uyarıcı-uyaran arasında herhangi bir belirgin işlevsel ilişkiye dayanmamaktadır (Deroy ve Spence, 2013). Walker ve arkadaşları (2010) tarafından yürütülen çalışmada 3-4 aylık bebeklerin, yüksek perdeli bir ses dinletildiğinde, yüksek ve sivri şekillere; düşük perdeli bir ses dinletildiğinde ise alçak ve yuvarlak şekillere yöneldikleri görülmüştür. Bu bulgular, sinestetik eşleşmelerin çevre ile öğrenilen bir olgu olmaktan ziyade doğuştan geldiğini (Ward ve Simner, 2020) düşündürse de; Meier ve Rothen (2009) tarafından yürütülen bir başka çalışmada sinestezinin kısa süreli alıştırmalarla sonradan edinilebilecek bir olgu olabileceği gösterilmiştir. Çalışmada katılımcılara belirli kısa aralıklarla harf-renk çiftleri sunularak sinestezi benzeri doğal davranışsal ve gelişimsel eğilimlerin ortaya çıkıp çıkmayacağı araştırılmıştır. Bunun için 20 sinestet olmayan birey Sinestetik Koşullama (Synesthetic Conditioning Task)

ve Sinestetik Stroop (Synesthetic Stroop Test) görevlerine tabi tutulmuştur. Katılımcılar 7 gün boyunca 10'ar dakikalık harf (A,B,C,D) - renk (kırmızı, yeşil, sarı ve mavi) çiftlerine maruz bırakılmıştır. Ek olarak, sinestetik deneyimde ortaya çıkan duygu ve davranışla ilişkili sempatik otonomik aktivite farklılıklarını gözlemlemek için de katılımcıların deri iletkenliği tepkileri (Skin Conductance Response (SCR) kaydedilmiştir. Bir haftalık eğitimin ardından alınan davranışsal sonuçlar Sinestetik Stroop Etkisinin ortaya çıkması için yeterli olduğunu göstermiş olsa da, bireylerin otonomik kayıtlarında sinestetik bir tepkiye rastlanamamıştır. Bu sonuçlar, bir harf ile bir renk arasında koşullu bağıntıların gelişebileceğini gösterse de, bu bağıntıların uzun süreli olmadığını ortaya koymuştur (Rothen ve ark., 2018). Böylece, talim yoluyla sinestetik tepkiler vermeye başlayan katılımcıların tepkilerinin doğuştan sinestetlerden farklı olduğu belirlenmiştir (Bor ve ark., 2014; Colizoli ve ark., 2012; Rothen ve ark., 2018). Görünüşe göre, doğuştan gelen sinestezi, uzun süreli de olsa, talim yoluyla edinilemeyecek bir görüngüdür.

Öte yandan, sinestezinin öğrenmeyi etkileyebileceğini veya öğrenmede yardımcı olabileceğini gösteren az sayıda ancak giderek genişleyen bir literatür de vardır. Örneğin, sinestetler deneyimlerini bir bellek tekniği olan nimonik tepkiler olarak kullanabiliyor ve hatta yeni soyut kategorileri öğrenirken bunlardan yararlanabilir gibi görünüyor. Bu bağlamda vaka çalışmaları genellikle sinestetlerin sıradışı bellek yeteneklerine sahip olduğunu vurgular. Bunlar arasında, uzun isim listelerini haftalar boyunca mükemmel bir şekilde hatırlayan (Millsetal.,2006) ve ilk maruziyetten 20 yıl sonra rastgele kelimeler sorularak yapılan bir testte kelimelerin listesini mükemmel bir şekilde hatırlayan sinestetler yer alır. Smilek ve arkadaşları (2002)' nın yaptığı çalışmada ise sinestet katılımcılar birkaç dakikalık öğrenme süresinin ardından 2-3 ay sonra 50 basamaklı sayıları doğru bir şekilde hatırlamışlardır.

Tartışma

Bu yazıda sinestezinin nörobiyolojik ve genetik mekanizmasını neonatal hipotezi temelinde inceleyerek davranışsal öğrenme ile ilişkisini açıklamayı amaçladık. Görünen o ki sinestezi olgusu başta bilgi işleme süreçleri olmak üzere epigenetik ve nörobilim alanlarına katkı sağlayacak bulgular sunmaktadır. Öncelikle Neonatal Sinestezi Hipotezi çekici bir teoridir çünkü birkaç farklı kanıt dizisini tutarlı bir bütün olarak bir araya getirir ve temeli beyin gelişiminin açıklamasına dayanır. Ancak bununla birlikte, günümüzde bazı noktalardan tartışılmaya açık bir teoridir. İlk olarak, teori için öne sürülen herhangi bir kanıt dolaylıdır ve şu ana kadar yapılan çalışmalarda bir bütün olarak test edilememiştir. Örneğin nörogörüntüleme teknikleri henüz bebek sinestetlerin yeni gelişmekte olan beyinlerine uygulanamadı. Bu, teoride öne sürülen sinir yolaklarının budamada başarısız olup olmadığına dair doğrudan bir kanıt olmadığı anlamına gelir. Bu durum kısmen de, sinesteziyi teşhis etmenin henüz elde olan imkanlarla mümkün olmamasından kaynaklanabilir. Bir çözüm olarak yetişkin sinestet bireylerin bebeklerinin beyinlerini tarayarak, bunların yetişkin sinestetler olarak ortaya çıkma olasılığı en yüksek olan bebekler olduğu bilgisiyle boylamsal olarak bu bebeklerin nörolojik gelişimleri gözlemlenebilir. Ancak bu tür bir uygulamanın pratik ve etik sınırlanmaları göz önünde bulundurulmalıdır.

Genetik alanından bakıldığında sinestezinin S2a reseptörü üzerinde aktarılan kalıtsal bir olgu olduğu bilinse de (Brang ve Ramachandran, 2008) bu reseptörün hangi beyin bölgesinde hangi yolaklardan geçerek nasıl bu işlevi gerçekleştirdiği tam olarak anlaşılmamaktadır. Ayrıca bu gen bireyde sinestetik beyin gelişimine işaret ediyor gibi görünmektedir. Dolayısıyla alanyazında desteklenecek olan genetik çalışmalarla birlikte sinesteziye neden olan genlerin, sinestetik beyin gelişiminde nasıl bir rol oynadığı ve sinestet olan kişilerin davranışında nasıl bir değişime yol açtığı araştırılabilir.

Davranışsal öğrenme boyutunda bir dizi eğitim çalışmasında ise, sinestet olmayan katılımcılar, kulağa gerçek sinestetik deneyimlere oldukça benzeyen deneyimler bildirse de yetişkinlerde kısa süreli eğitimin etkileri ile sinestetlerin uzun süreli çağrışımları arasında önemli farklılıklar vardır; ancak yine de bunlar, ikisinin niteliksel olarak farklı olduğu sonucuna varmak için yeterli değildir. Bu nedenle sinestezi ve öğrenme ile ilgili uzun süreli eğitimlerle ve mümkünse gelişimsel açıdan değişimi görebilmek adına boylamsal olarak incelenecek çalışmalara ihtiyaç vardır. Ek olarak birçok açıdan sinestezi durumunda öğrenme çalışmak güçtür çünkü her bir sinestet bireyin, bireysel sinestezi deneyimi analiz etmemiz gerekir. Bunun için, laboratuvar ortamında kişiye özgü geliştirilen deneyler ve test araçları olmalıdır. Özellikle algı ve bellek görevlerinde sinestetik performans stillerini test etmenin yeni yollarını içeren daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu açıktır. Çalışmalar bize sinestetlerin algılama yönünden belirli avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Örneğin grafem-renk sinestetleri, kontrol grubuna göre renk algısı testlerinde daha iyi performans elde etmiştir (Banissy ve ark. 2009). Ancak sinestetlerin daha iyi algılayıcılar olduğu söylemek basit bir durum olarak görülemez. Sadece bu verilerden yola çıkarak algıdaki farklılıkların doğrudan sinestezinin bir sonucu mu yoksa sebebi mi olduğu sonucuna varmamız mümkün değildir. Sinesteziyle bağlantılı olan bellek üstünlüğünün görüldüğü bazı vakalar mevcuttur. Sineste-

zi- bellek ilişkisine dair ilk açıklama Luria (1968) tarafından yapılmıştır. Luria, vaka raporunda, halk önünde sergilenen eğlence programlarından üstün bellek performansları sergileyen S' nin (Solomon Shereshevskii) durumunu açıklarken S'nin, bir sesin renkleri, dokunma hissi ve tatları ortaya çıkarabildiği birden fazla sinestezi biçimine sahip olduğunu bildirmiştir. Luria'nın vaka örneği ilerleyen yıllarda sinestetlerin "üstün bellek" yeteneğine sahip kişiler olarak tanınmasına neden olmuştur (Ward, 2013). Ardından bir diğer vaka Daniel Tammet (2006), pi sayısını 20.000'den fazla ondalık basamağa kadar ezberleyebilmiştir ve bunu sinestezisini kullanarak yaptığını bildirmiştir: Ona göre her basamak, bir dizi olarak bir araya getirilerek karakteristik bir renge, şekle ve dokuya karşılık geliyormuş.

Öte yandan Aleksandra Rogowska (1970) sinestetlerin bir çoğunun kişilik, mizaç, zeka, yaratıcılık, duygusallık, dikkat, bellek, renk algısı, gibi birçok özellik bakımından farklılaşabileceğini savunmuştur. Gerçekten de, bu görüşü doğrulayan bir çalışma da George Domino (1989) dan gelmiştir. Üç büyük üniversiteden 358 güzel sanatlar öğrencisiyle bir anket yapılmış; öğrencilerin %23'ü bir sinestezi deneyimi yaşadığını, %49'u ise böyle bir deneyim yaşamadığını bildirmiştir. Bu katılımcılar, cinsiyet, okul branşı, okul yılı ve sözel zekaya göre dört yaratıcılık ölçümünden oluşan bir test bataryası ile test edilmiş; sinestetler, dört yaratıcılık ölçüsünün tamamında kontrollerden önemli ölçüde daha yüksek puan almışlardır. Sonuçlar, sinestetlerin genellikle müzik ve sanat alanlarında yer aldığını ve yüksek derecede yaratıcılığa sahip olduğunu göstermiştir. Daha sonra Rother ve Meier (2010) tarafından yapılan çalışmada grafem (harf)-renk sinestezisinin sanat öğrencilerinde yaygınlığı diğer branşlara göre daha yüksek olarak görülmüştür. Simner ve ark. (2009) görsel- uzamsal sinestezide beyaz madde yollarında artan bağlantının yüksek zeka seviyesi (IQ) ile ilişkili olabileceğini önermiştir. Rouw ve Scholte (2016) çalışmasında sinestetlerde artan zeka puanını istatiksel olarak doğrulamış ancak bu yüksek zekanın, belirli sinestezi tipleri tarafından yönlendirilmediğini belirtmiştir.

Görünen o ki bazı çalışmalar genel olarak bilişsel performansın sinestezi ile ilişkili olarak arttığını göstermiştir ancak bu bilişsel işlevlerin hangi yollarla doğrudan sinestezinin varlığıyla ilişkili olduğu görecelidir.

Sonuç

Neonatal Sinestezi Hipotezi bütüncül bir teoridir, ancak eksik boyutları da vardır. Burada sinestezinin olası bir genetik kalıtıma sahip olduğunu gördük. Bu nedenle şu sonuca varabiliriz ki sinestezi doğrudan öğrenme gibi doğum sonrası edinimsel olaylardan kaynaklanmaz ve sonradan öğrenilemeyecek bir olgudur. Doğum öncesinde bir şekilde önceden belirlenmiş ve epigenetik bazı faktörlerden etkilenmiş olması muhtemeldir.

Kaynaklar

Arend, I., Yuen, K., Sagi, N. ve Henik, A. (2018). Neuroanatomical basis of numbersynaesthesias: A voxel-based morphometry study. *Cortex, 101*, 172–180.https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.01.020

Banissy, M.J., Walsh, V. ve Ward, J. (2009). Enhanced sensory perception in synaesthesia. *Experimental Brain Research,* 196, 565–71.

Baron-Cohen S. (1996). Is there a normal phase of synesthesia in development? *Psyche,2*(27), 223-228.

Barnett, K. J. ve Newell, F. N. (2008). Synaesthesia is associated with enhanced, self-rated visual imagery. *Consciousness and Cognition*, *17*(3), 1032–1039. https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.05.011

Bor, D., Rothen, N., Schwartzman, D. J., Clayton, S., ve Seth, A. K. (2014). Adults can be trained to acquire synesthetic experiences. *Scientific Reports*, *4*, 7089. https://doi.org/10.1038/srep07089

Bosley, H. G. ve Eagleman, D. M. (2015). Synesthesia in twins: incomplete concordance in monozygotes suggests extragenic factors. *Behavioural Brain Research*, *286*, 93–96. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.02.024

Brang, D. ve Ramachandran, V. S. (2008). Psychopharmacology of synesthesia; the role ofserotonin S2a receptor activation. *Medical Hypotheses*, *70*(4), 903–904 https://doi.org/10.1016/j.mehy.2007.09.007

Brang, D. ve Ramachandran, V. S. (2011). Survival of the synesthesia gene: why do people hear colors and taste words?. *PLoS Biology*, *9*(11), e1001205. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001205

Colizoli, O., Murre, J.M. ve Rouw, R. (2012). Pseudo-synesthesia through reading books with colored letters. *PLoS One*, *7*(6), e39799. doi:10.1371/journal.pone.0039799

Cytowic, R. E. (2018). *Synesthesia*. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MITPress.

Cytowic, R. E. ve Eagleman, D. M. (2009). *Wednesday Is Indigo Blue: Discovering the Brain of Synesthesia*. London, England: MIT Press.

Cytowic, R. E. (2002). *Synesthesia: A Union of the Senses* (2nd ed.). Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press.

Day, S. (2017). *Demographic aspects of synesthesia.* Daysyn. http://www.daysyn.com/Types-of-Syn.html

Deroy, O. ve Spence, C. (2013). Are we all born synaesthetic? Examining the neonatal synaesthesia hypothesis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *37*(7), 1240–1253.https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.001

Dixon, M. J., Smilek, D., Cudahy, C. ve Merikle, P. M. (2000). Five plus two equals yellow:Mental arithmetic in people with synaesthesia is not coloured by visual experience. *Nature, 406*(6794), 365. https://doi.org/10.1038/35019148

Domino, G. (1989). Synesthesia and creativity in fine arts students: an empirical look. *Creativity Research Journal, 2*(1-2), 17-29. doi:10.1080/10400418909534297

Feldman J. (2013). The neural binding problem(s). *Cognitive Neurodynamics*, *7*(1), 1–11.https://doi.org/10.1007/s11571-012-9219-8

Grossenbacher, P. G. ve Lovelace, C. T. (2001). Mechanisms of synesthesia: cognitive and physiological constraints. *Trends in Cognitive Sciences, 5*(1), 36-41.doi:10.1016/s1364 6613(00)01571-0.

Harvey J. P. (2013). Sensory perception: lessons from synesthesia: using synesthesia to inform the understanding of sensory perception. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, *86*(2), 203–216.

Hayashi, T. ve Su, T. (2005). The sigma receptor: evolution of the concept in neuropsychopharmacology. *Current Neuropharmacology*, *3*(4), 267–280. https://doi.org/10.2174/157015905774322516

Huttenlocher, P. R. ve Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis inhuman cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, *387*(2), 167–178. https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19971020)387:2<167::aid-cne1>3.0.co;2-z

Hsu, HC., Bai, CH. (2022). Individual and environmental factors associated with cognitive function in older people: a longitudinal multilevel analysis. *BMC Geriatr, 22*, 243. https://doi.org/10.1186/s12877-022-02940-9

Ione, A. (2009). Synesthesia: Art and the Mind (review). *Leonardo, 42*, 267-269.

Luria A. (1968). *The Mind of a Mnemonist*. New York: Basic Books

Kim, M. ve Park, J. M. (2017). Factors affecting cognitive function according to gender in community-dwelling elderly individuals. *Epidemiology and Health*, *39*, e2017054. https://doi.org/10.4178/epih.e2017054

Maurer, D. ve Maurer C. *The World of the Newborn*. New York: Basic Books; 1988.

Maurer D. ve Mondloch C. (2005). Neonatal Synesthesia: A Re-Evaluation. In: Robertson LC,Sagiv N, editors. Synesthesia: Perspectives *214 Harvey: Using synesthesia to inform the understanding of sensory perception* From Cognitive Neuroscience. 1st ed. Oxford: Oxford University Press.

Maurer, D. ve Mondloch, C. J. (2006). The infant as synesthete? in Y. Munakata & M. H. Johnson (Eds.), *Processes of Change in Brain and Cognitive Development: Attention and Performance* (pp. 449-471).

Meier, B. (2021). Synesthesia. In Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology: Elsevier.

Meier, B.ve Rothen, N. (2009). Training grapheme-colour associations produces a synaesthetic Stroop effect but not a conditioned synaesthetic response. *Neuropsychologia*, *47*(4), 1208–1211. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.01.009

Mills, C.B., Innis, J., Westendorf, T., Owsianiecki, L. ve McDonald, A. (2006). Effect of a synesthete's photisms on name recall. *Cortex*, *42*(2), 155-163. https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70340-X

Rogowska, A. M. (1970). *Synaesthesia and individual differences* . Retrieved from https://doi.org/10.1017/CBO9781316156230

Rothen N, Meier B. (2010). Higher prevalence of synaesthesia in art students. *Perception* 39:718–20.

Rothen, N., Schwartzman, D.J., Bor, D. ve Seth, A.K.(2018). Coordinated neural, behavioral, and phenomenological changes in perceptual plasticity through overtraining of synesthetic associations. *Neuropsychologia*. 111, 151–162.

Rouw, R. ve Scholte, H. S. (2007). Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Nature Neuroscience*, *10*(6), 792–797. https://doi.org/10.1038/nn1906

Rouw, R. ve Scholte, H. S. (2016). Personality and cognitive profiles of a general synesthetic trait. *Neuropsychologia*, *88*, 35–48. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.006

Safran, A. B. ve Sanda, N. (2015). Color synesthesia. Insight into perception, emotion, and consciousness. *Current Opinion in Neurology, 28*(1), 36-44. doi:10.1097/wco.0000000000000169

Sagiv, L. C. R. a. N. (2005). *SYNESTHESIA: Perspectives from Cognitive Neuroscience,* 198 Madison Avenue, New York, New York, 10016: Oxford University Press.

Schwartzman, D. J., Bor, D., Rothen, N. ve Seth, A. K. (2019). Neurophenomenology of induced and natural synaesthesia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *374*(1787), 20190030. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0030

Simner, J. (2019). *Synaesthesia: A Very Short Introduction* (First ed.). Great Clarendon Street, Oxford, OX2 6DP, United Kingdom: Oxford University Press.

Simner, J. (2018). Synesthesia. In Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology: Elsevier.

Simner, J., Mayo, N. ve Spiller, M.J. (2009). A foundation for savantism? Visuo-spatial synaesthetes present with cognitive benefits. *Cortex, 45*(10),1246–1260.

Simner, J., Mulvenna, C., Sagiv, M., Tsakanikos, E., Witherby, S.A. ve Fraser, C. (2006). Synaesthesia: the prevalence of atypical cross-modal experiences. *Perception, 35*(8), 1024-33.

Sinke, C., Neufeld, J., Emrich, H. M., Dillo, W., Bleich, S., Zedler, M. ve Szycik, G. R. (2012). Inside a synesthete's head: a functional connectivity analysis with grapheme-color synesthetes. *Neuropsychologia*, *50*(14), 3363–3369. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.015

Smilek, D., Moffatt, B. A., Pasternak, J., White, B. N., Dixon, M. J. ve Merikle, P. M. (2002). Synaesthesia: a case study of discordant monozygotic twins. *Neurocase*, *8*(4), 338 342. https://doi.org/10.1076/neur.8.3.338.16194

Smilek, D., Dixon, M. J., Cudahy, C. ve Merikle, P. M. (2002). Synesthetic Color Experiences Influence Memory. *Psychological Science, 13*(6), 548–552. https://doi.org/10.1111/1467-9280.00496

Sobko, A. (2023, January 27). Cell Migration Hypothesis of Synesthesia. https://doi.org/10.31219/osf.io/83v25

Sur, M. ve Leamey, C. A. (2001). Development and plasticity of cortical areas and networks. *Nature Reviews. Neuroscience*, *2*(4), 251–262. https://doi.org/10.1038/35067562

Tammet D. (2006). *Born on a Blue Day*. London: Hodder & Stoughton

Tilot, A. K., Kucera, K. S., Vino, A., Asher, J. E., Baron-Cohen, S. ve Fisher, S. E. (2018). Rare variants in axonogenesis genes connect three families with sound-color synesthesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the UnitedStates of America*, *115*(12), 3168–3173.https://doi.org/10.1073/pnas.1715492115

Tomson, S. N., Avidan, N., Lee, K., Sarma, A. K., Tushe, R., Milewicz, D. M., Bray, M., Walker, P., Bremner, J. G., Mason, U., Spring, J., Mattock, K., Slater, A. ve Johnson, S. P. (2010). Preverbal infants' sensitivity to synaesthetic cross-modality correspondences. *Psychological Science*, *21*(1), 21–25. https://doi.org/10.1177/0956797609354734

Tzourio-Mazoyer, N., De Schonen, S., Crivello, F., Reutter, B., Aujard, Y. ve Mazoyer, B. (2002). Neural correlates of woman face processing by 2-month-old infants. *NeuroImage*, *15*(2), 454–461. https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0979

Walker, P., Bremner, J. G., Mason, U., Spring, J., Mattock, K., Slater, A. ve Johnson, S. P. (2010). Preverbal infants' sensitivity to synaesthetic cross-modality correspondences. *Psychological Science*, *21*(1), 21–25. https://doi.org/10.1177/0956797609354734

Ward, J. (2013). Synesthesia. *Annual Review of Psychology, 64(1),* 49 75. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143840

Ward, J. ve Simner, J. (2020). Chapter 13 - Synesthesia: The current state of the field. In K. Sathian & V. S. Ramachandran (Eds.), *Multisensory Perception* (pp. 283-300): Academic Press.

Ward, J. ve Simner, J. (2003). Lexical-gustatory synaesthesia: linguistic and conceptual factors. *Cognition, 89*(3), 237-261. doi:10.1016/s0010-0277(03)00122-7

Watson, M. R., Akins, K. A., Spiker, C., Crawford, L. ve Enns, J. T. (2014). Synesthesia and learning: a critical review and novel theory. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 98. https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00098

Wolff, P. H., Matsumiya, Y., Abroms, I. F., Van Velzer, C. ve Lombroso, C. T. (1974). The effect of white noise on the somatosensory evoked response in sleeping newborn infants. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 37*(3), 269-274. doi:https://doi.org/10.1016/0013-4694(74)90030-3

Voskuil P. H. (2013). Van Gogh's disease in the light of his correspondence. *Frontiers Of Neurology and Neuroscience*, *31*, 116–125. https://doi.org/10.1159/000343265

Yaka, R., Yinon, U. ve Wollberg, Z. (1999). Auditory activation of cortical visual areas in cats after early visual deprivation. *The European Journal of Neuroscience*, *11*(4),1301–1312. https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.1999.00536.x