



SANAL GERÇEKLİK ORTAMINDA MEKÂNSAL HAFIZA PERFORMANSI: CİNSİYET VE YAŞ ETKİLERİ

*SPATIAL MEMORY PERFORMANCE IN VIRTUAL REALITY ENVIRONMENTS:
EFFECTS OF GENDER AND AGE*

ÖZ

Mekânsal hafıza, bireylerin çevrelerindeki nesnelerin konumlarını ve mekânsal ilişkilerini hatırlama yetisiyle yakından ilişkilidir. Son yıllarda sanal gerçeklik teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, mekânsal hafızanın değerlendirilmesinde yenilikçi yöntemler ortaya çıkmıştır. Literatürde, sanal ortamlarda gerçekleştirilen mekânsal hafıza görevlerinin, gerçek dünya deneyimlerine benzer bilişsel süreçleri tetiklediği ve ölçümlerde yüksek ekolojik geçerlilik sağladığı vurgulanmaktadır. Araştırmalar, yaş ve cinsiyet değişkenlerinin mekânsal hafıza performansı üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle erkeklerin, belirli mekânsal görevlerde kadınlara kıyasla daha yüksek başarı sergilediği; yaş ilerledikçe ise performansta genel bir düşüş gözlemlendiği rapor edilmiştir. Bununla birlikte, bazı bulgular kadınların strateji kullanımında farklılıklar gösterdiğini ve yaşlı bireylerin teknolojik ortamlara adaptasyonunda çeşitli zorluklar yaşadığını ortaya koymaktadır. Sanal gerçeklik uygulamalarının, farklı yaş ve cinsiyet gruplarının bilişsel süreçlerini anlamada önemli bir araç sunduğu belirtilmektedir. Ayrıca, bu teknolojinin bireylerin mekânsal hafıza kapasitelerini değerlendirmede geleneksel yöntemlere kıyasla daha dinamik ve esnek bir ortam sağladığı ifade edilmektedir. Literatürdeki bulgular, sanal gerçeklik tabanlı ölçümlerin, bireysel farklılıkların anlaşılmasına katkı sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekânsal Hafıza, Sanal Gerçeklik, Cinsiyet, Yaş, Bilişsel Süreçler

ABSTRACT

Spatial memory is closely associated with the ability to recall the locations of objects and spatial relationships within an environment. With the rapid advancement of virtual reality technologies in recent years, innovative approaches have emerged for the assessment of spatial memory. The literature highlights that spatial memory tasks conducted in virtual environments elicit cognitive processes similar to those in real-world experiences and offer high ecological validity in measurements. Studies indicate that variables such as age and gender exert significant effects on spatial memory performance. Specifically, males tend to outperform females in certain spatial tasks, while a general decline in performance is observed with increasing age. Furthermore, some findings reveal that females employ different strategies and that older individuals may encounter challenges in adapting to technological environments. Virtual reality applications are noted to provide a valuable tool for understanding the cognitive processes of diverse age and gender groups. Additionally, this technology offers a more dynamic and flexible setting for evaluating spatial memory capacities compared to traditional methods. The findings in the literature demonstrate that virtual reality-based assessments contribute to a deeper understanding of individual differences.

Keywords: Spatial Memory, Virtual Reality, Gender, Age, Cognitive Processes

Murat KAN¹

How to Cite This Article

KAN, M. (2024).
SANAL GERÇEKLİK
ORTAMINDA
MEKÂNSAL HAFIZA
PERFORMANSI:
CİNSİYET VE YAŞ
ETKİLERİ. Sentez
Akademik Araştırmalar
Dergisi, 1(1), 811–826.
[https://doi.org/10.61749/
JOSSAR-13.811-826](https://doi.org/10.61749/JOSSAR-13.811-826)

DOI:

10.61749/JOSSAR-
13.811-826

Arrival: 25/04/2024

Published: 31/12/2024

Journal of Synthesis
Academic Research is
licensed under a Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License.

This journal is an open
access, peer-reviewed
international
journal.

¹ PhD on Clinical Psychology. International Dublin University. <https://orcid.org/0009-0007-9234-2938>

1. GİRİŞ

1.1. Sanal Gerçeklik ve Bilişsel Araştırmalardaki Yeri

Sanal gerçeklik (SG), son yıllarda bilişsel psikoloji ve nörobilim alanlarında giderek artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. Bu teknolojinin sunduğu üç boyutlu, etkileşimli ve kontrollü ortamlar, bilişsel süreçlerin doğrudan ve ekolojik olarak geçerli biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır (Parsons et al., 2017). SG'nin bilişsel araştırmalarda kullanılmasının temel avantajı, gerçek dünyadaki karmaşık uyaranların laboratuvar ortamında yeniden üretilmesi ve katılımcıların davranışlarının hassas biçimde ölçülebilmesidir. Özellikle mekânsal hafıza gibi çevresel bilgi işleme süreçlerinin değerlendirilmesinde, SG ortamları geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek bir gerçekçilik ve kontrol düzeyi sunmaktadır (Bohil, Alicea & Biocca, 2011). Bu bağlamda, SG'nin bilişsel araştırmalardaki yeri hem teorik hem de uygulamalı açıdan giderek daha merkezi bir konuma yerleşmektedir.

SG'nin bilişsel süreçlerin araştırılmasında sağladığı avantajlar, yalnızca deneysel kontrolle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda katılımcıların motivasyonunu ve katılımını da artırmaktadır. Gerçekçi ve etkileşimli ortamlar, katılımcıların deneyime daha fazla dâhil olmasını sağlamakta ve bu durum, elde edilen verilerin geçerliliğini olumlu yönde etkilemektedir (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Ayrıca, SG teknolojileri sayesinde, geleneksel laboratuvar ortamlarında simüle edilmesi güç olan karmaşık mekânsal görevler kolaylıkla oluşturulabilmektedir. Bu olanak, mekânsal hafıza gibi karmaşık bilişsel süreçlerin daha ayrıntılı biçimde incelenmesine imkân tanımaktadır.

Bilişsel araştırmalarda SG'nin kullanımı, aynı zamanda bireysel farklılıkların incelenmesi açısından da yeni ufuklar açmaktadır. Özellikle cinsiyet ve yaş gibi demografik değişkenlerin bilişsel performans üzerindeki etkilerinin araştırılmasında, SG ortamları daha hassas ve ayrıntılı ölçümler yapılmasına olanak sağlamaktadır (Clemenson & Stark, 2015). Bu bağlamda, SG'nin bilişsel araştırmalardaki yeri, yalnızca deneysel paradigmanın bir uzantısı olarak değil, aynı zamanda bireysel farklılıkların ve bilişsel çeşitliliğin anlaşılmasında da kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

1.2. Mekânsal Hafıza Kavramı ve Önemi

Mekânsal hafıza, bireylerin çevrelerindeki mekânsal ilişkileri kodlama, depolama ve geri çağırma yeteneğini ifade etmektedir. Bu bilişsel süreç, günlük yaşamda yön bulma, nesnelerin konumunu hatırlama ve çevresel düzenlemeleri anlamlandırma gibi temel işlevlerde kritik bir rol oynamaktadır (Ekstrom et al., 2018). Mekânsal hafızanın önemi, yalnızca bireysel düzeydeki işlevsellikle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda nörolojik hastalıkların erken teşhisinde ve rehabilitasyon süreçlerinde de belirleyici olmaktadır. Özellikle Alzheimer hastalığı ve diğer demans türlerinde mekânsal hafıza bozuklukları, hastalığın erken evrelerinde ortaya çıkan temel semptomlar arasında yer almaktadır (Coughlan et al., 2018).

Mekânsal hafıza, bilişsel haritaların oluşturulmasında ve çevresel bilginin yapılandırılmasında merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu süreç hem kısa süreli hem de uzun süreli hafıza sistemleriyle etkileşim hâlinindedir ve çeşitli nöroanatomik yapılar tarafından desteklenmektedir (O'Keefe & Nadel, 1978). Mekânsal hafızanın işleyişi, bireylerin çevreyle etkileşiminde esneklik ve adaptasyon sağlamaktadır. Bu nedenle, mekânsal hafıza performansının değerlendirilmesi, bilişsel kapasitenin ve çevresel adaptasyonun anlaşılması açısından büyük bir öneme sahiptir.

Mekânsal hafıza, aynı zamanda eğitim, mesleki performans ve günlük yaşamda bağımsızlık gibi alanlarda da belirleyici bir faktördür. Özellikle karmaşık şehir ortamlarında yön bulma, yeni rotaların öğrenilmesi ve mekânsal ilişkilerin hızlı biçimde kavranması, bireylerin yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir (Wolbers & Hegarty, 2010). Bu bağlamda, mekânsal hafıza performansının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi hem bireysel hem de toplumsal düzeyde önemli uygulama alanlarına sahiptir.

1.3. Cinsiyet ve Yaş Faktörlerinin Bilişsel Süreçlerdeki Rolü

Cinsiyet ve yaş, bilişsel süreçlerdeki bireysel farklılıkların anlaşılmasında temel değişkenler arasında yer almaktadır. Cinsiyete bağlı bilişsel farklılıklar, özellikle mekânsal yetenekler alanında uzun süredir tartışılmaktadır. Literatürde, erkeklerin genellikle mekânsal rotasyon ve yön bulma gibi görevlerde kadınlara kıyasla daha yüksek performans gösterdiği öne sürülmektedir (Voyer, Voyer & Bryden, 1995). Ancak, bu farklılıkların büyüklüğü ve nedenleri konusunda çeşitli teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Hormonal, nörobiyolojik ve sosyo-kültürel faktörlerin etkileşimi, cinsiyet temelli bilişsel farklılıkların ortaya çıkmasında belirleyici rol oynamaktadır (Cahill, 2006).

Yaş faktörü ise, bilişsel süreçlerin gelişimsel ve dejeneratif yönlerini anlamada kritik bir değişkendir. Mekânsal hafıza performansı, çocukluktan yaşlılığa kadar farklı gelişimsel evrelerde değişiklik göstermektedir. Yaşlanma süreciyle birlikte, özellikle hipokampal işlevlerde meydana gelen gerileme, mekânsal hafıza performansında belirgin düşüşlere yol açmaktadır (Lester, Moffat & Wiener, 2017). Bununla birlikte, nöroplastisite ve kompensatuar stratejiler sayesinde bazı yaşlı bireylerde mekânsal hafıza performansının korunabildiği de gösterilmiştir.

(Greenwood, 2007).

Cinsiyet ve yaş faktörlerinin bilişsel süreçlerdeki rolü, yalnızca bireysel farklılıkların anlaşılması açısından değil, aynı zamanda bilişsel müdahale ve rehabilitasyon programlarının tasarlanmasında da önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu değişkenlerin mekânsal hafıza üzerindeki etkilerinin ayrıntılı biçimde incelenmesi hem teorik hem de pratik düzeyde önemli katkılar sağlamaktadır.

1.4. Literatür Taramasının Amacı ve Kapsamı

Mekânsal hafıza performansının sanal gerçeklik ortamlarında değerlendirilmesi, son yıllarda bilişsel psikoloji ve nörobilim alanlarında önemli bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Bu literatür taramasının temel amacı, sanal gerçeklik ortamında mekânsal hafıza performansının cinsiyet ve yaş değişkenleri açısından nasıl farklılaştığını, mevcut ampirik bulgular ve kuramsal yaklaşımlar ışığında derinlemesine analiz etmektir. Bu bağlamda, sanal gerçeklik teknolojilerinin mekânsal hafıza araştırmalarında sağladığı olanaklar, cinsiyet ve yaş faktörlerinin bilişsel süreçlere etkisi ve bu etkileşimin altında yatan nörobiyolojik ve psikososyal mekanizmalar ayrıntılı biçimde ele alınacaktır (Newman et al., 2007).

Ayrıca, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmalarının yöntemsel sınırlılıkları, ekolojik geçerliliği ve gelecekteki araştırmalar için öneriler de kapsam dâhilinde değerlendirilecektir. Literatürdeki temel eğilimler, çelişkili bulgular ve açıklama modelleri, eleştirel bir bakış açısıyla tartışılacaktır. Böylece, sanal gerçeklik ortamında mekânsal hafıza performansının cinsiyet ve yaş değişkenleri bağlamında bütüncül bir perspektifle anlaşılması hedeflenmektedir.

2. SANAL GERÇEKLİK ORTAMLARINDA MEKÂNSAL HAFIZA

2.1. Sanal Gerçeklik Teknolojisinin Tanımı ve Evrimi

Sanal gerçeklik, kullanıcıların bilgisayar tarafından oluşturulan üç boyutlu ortamlarda gerçekçi bir şekilde etkileşimde bulunmalarına olanak tanıyan bir teknolojidir. Bu teknoloji, görsel, işitsel ve dokunsal uyarıların entegrasyonu sayesinde, kullanıcıların gerçek dünyadaymış gibi deneyim yaşamalarını sağlamaktadır (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Sanal gerçekliğin evrimi, ilk başlarda askeri ve havacılık simülasyonlarıyla başlamış, günümüzde ise eğitim, sağlık, psikoloji ve nörobilim gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Özellikle son on yılda, donanım ve yazılım alanındaki gelişmeler, sanal gerçekliğin erişilebilirliğini ve uygulama alanlarını önemli ölçüde genişletmiştir (Freeman et al., 2017).

Sanal gerçeklik teknolojisinin gelişimi, bilişsel araştırmalarda yeni metodolojik olanaklar sunmuştur. Geleneksel laboratuvar ortamlarında simüle edilmesi güç olan karmaşık mekânsal görevler, sanal gerçeklik sayesinde kolaylıkla oluşturulabilmekte ve katılımcıların gerçekçi ortamlarda test edilmesi mümkün hâle gelmektedir (Bohil, Alicea & Biocca, 2011). Bu durum, mekânsal hafıza gibi çevresel bilgi işleme süreçlerinin daha ekolojik geçerli biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin evrimi, aynı zamanda kullanıcı deneyiminin kalitesini ve gerçeklik hissini artırmıştır. Yüksek çözünürlüklü ekranlar, düşük gecikmeli hareket izleme sistemleri ve gelişmiş etkileşim araçları, kullanıcıların sanal ortamlara daha fazla dâhil olmasını sağlamaktadır (Slater, 2018). Bu gelişmeler, bilişsel süreçlerin daha hassas ve güvenilir biçimde ölçülmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sanal gerçekliğin taşınabilir ve uygun maliyetli hâle gelmesi, geniş katılımcı gruplarının araştırmalara dâhil edilmesini kolaylaştırmıştır.

Sanal gerçeklik teknolojisinin tanımı ve evrimi, bilişsel araştırmaların metodolojik sınırlarını genişletmiş ve mekânsal hafıza gibi karmaşık bilişsel süreçlerin daha ayrıntılı biçimde incelenmesine olanak tanımıştır. Bu teknolojinin sunduğu olanaklar hem teorik hem de uygulamalı araştırmalar açısından yeni ufuklar açmaktadır.

2.2. Sanal Gerçeklikte Mekânsal Hafıza Değerlendirme Yöntemleri

Sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza değerlendirmesi, çeşitli görev ve paradigmlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu görevler arasında sanal labirentler, yol bulma testleri, nesne-konum eşleştirme görevleri ve mekânsal navigasyon simülasyonları yer almaktadır (Clemenson & Stark, 2015). Sanal labirent görevleri, katılımcıların sanal bir ortamda belirli bir hedefe ulaşmak için yolları keşfetmesini ve öğrendiği rotaları hatırlamasını gerektirmektedir. Bu tür görevler, mekânsal hafızanın hem öğrenme hem de geri çağırma süreçlerini değerlendirmek açısından yaygın olarak kullanılmaktadır (Moffat, 2009).

Sanal gerçeklikte kullanılan bir diğer değerlendirme yöntemi, yol bulma ve yön bulma görevleridir. Bu görevlerde katılımcılar, sanal bir şehir veya bina içinde belirli hedeflere ulaşmak için çevresel ipuçlarını kullanmak zorundadır. Bu tür görevler, gerçek dünya navigasyonuna benzer bilişsel süreçleri tetiklemekte ve mekânsal hafızanın ekolojik geçerliliğini artırmaktadır (Cushman, Stein & Duffy, 2008). Ayrıca, sanal gerçeklikte nesne-konum eşleştirme

görevleri de sıkça kullanılmaktadır. Bu görevlerde katılımcılar, belirli nesnelerin sanal ortamda hangi konumlarda bulunduğunu hatırlamak zorundadır. Bu tür görevler, mekânsal hafızanın ayrıntılı ve hassas biçimde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Sanal gerçeklikte mekânsal hafıza değerlendirme yöntemlerinin bir diğer avantajı, katılımcıların performansının otomatik olarak kaydedilmesi ve analiz edilmesidir. Bu sayede, hata türleri, tepki süreleri ve strateji kullanımı gibi ayrıntılı veriler elde edilebilmektedir (Parsons et al., 2017). Ayrıca, sanal gerçeklik ortamlarında çevresel değişkenlerin hassas biçimde kontrol edilebilmesi, deneysel manipülasyonların güvenilirliğini artırmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı, mekânsal hafıza araştırmalarında hem geçerlilik hem de güvenilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

2.3. Sanal Gerçeklik ve Gerçek Dünya Arasındaki Bilişsel Benzerlikler ve Farklılıklar

Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza görevleri ile gerçek dünya görevleri arasında çeşitli benzerlikler ve farklılıklar bulunmaktadır. Literatürde, sanal gerçeklikte elde edilen mekânsal hafıza performansının, gerçek dünyadaki performansla yüksek oranda ilişkili olduğu gösterilmiştir (Richardson, Montello & Hegarty, 1999). Bu bulgu, sanal gerçeklik ortamlarının bilişsel süreçlerin ekolojik geçerliliğini koruduğunu ve gerçek dünya davranışlarını yordamada etkili olduğunu göstermektedir. Ancak, bazı araştırmalar sanal gerçeklikteki performansın, gerçek dünyadaki performansa kıyasla belirli açılardan farklılaşabileceğini de ortaya koymuştur (Montello et al., 2004).

Sanal gerçeklik ve gerçek dünya arasındaki bilişsel benzerlikler, özellikle çevresel ipuçlarının kullanımı, mekânsal haritaların oluşturulması ve yön bulma stratejilerinin uygulanması açısından belirgindir. Katılımcılar, sanal ortamlarda da gerçek dünyadaki gibi çevresel ipuçlarını kullanarak mekânsal ilişkileri kodlayabilmekte ve rotaları öğrenebilmektedir (Waller, Hunt & Knapp, 1998). Ancak, sanal gerçeklikteki algısal ve motor deneyimlerin gerçek dünyadakinden farklı olabileceği, bu durumun da mekânsal hafıza performansını etkileyebileceği öne sürülmektedir. Özellikle hareketin kısıtlanması, dokunsal geri bildirimin sınırlı olması ve görsel-vestibüler uyumsuzluklar, sanal gerçeklikteki bilişsel süreçleri farklılaştırabilmektedir (Chance, Gaunet, Beall & Loomis, 1998).

Sanal gerçeklik ve gerçek dünya arasındaki farklılıklar, aynı zamanda bireysel farklılıkların etkisini de değiştirebilmektedir. Örneğin, bazı araştırmalar, yaşlı bireylerin sanal gerçeklik ortamlarında gerçek dünyaya kıyasla daha düşük performans gösterebildiğini, bunun da teknolojiye aşinalık ve algısal-motor uyum sorunlarından kaynaklanabileceğini belirtmiştir (Jansen et al., 2010). Bu nedenle, sanal gerçeklik ortamlarında elde edilen bulguların gerçek dünyaya genellenebilirliği, yöntemsel ve katılımcı özellikleri açısından dikkatle değerlendirilmelidir.

2.4. Sanal Gerçeklikte Mekânsal Hafıza Performansını Etkileyen Faktörler

Sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza performansını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında ortamın gerçekçilik düzeyi, kullanıcı arayüzünün karmaşıklığı, görev zorluğu ve katılımcıların teknolojiye aşinalığı yer almaktadır (Parsons et al., 2017). Ortamın gerçekçilik düzeyi, katılımcıların çevresel ipuçlarını algılamasını ve mekânsal ilişkileri kodlamasını doğrudan etkilemektedir. Yüksek gerçekçilik düzeyine sahip ortamlar, mekânsal hafıza performansını artırabilmekte, düşük gerçekçilik düzeyine sahip ortamlar ise bilişsel yükü artırarak performansı olumsuz etkileyebilmektedir (Slater, 2018).

Kullanıcı arayüzünün karmaşıklığı ve etkileşim biçimi de mekânsal hafıza performansını etkileyen önemli değişkenler arasındadır. Karmaşık ve sezgisel olmayan arayüzler, katılımcıların görev odaklı dikkatini dağıtabilmekte ve bilişsel yükü artırabilmektedir (Clemenson & Stark, 2015). Ayrıca, görev zorluğu ve çevresel karmaşıklık, katılımcıların strateji kullanımını ve performansını belirleyici biçimde etkileyebilmektedir. Daha karmaşık görevler, bireylerin bilişsel kaynaklarını daha fazla kullanmasını gerektirmekte ve bu durum, özellikle yaşlı bireylerde performans düşüşüne yol açabilmektedir (Jansen et al., 2010).

Katılımcıların teknolojiye aşinalığı, sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza performansını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Teknolojiye aşina olmayan bireyler, sanal ortamlarda daha fazla uyum sorunu yaşayabilmekte ve bu durum, performansın gerçek bilişsel kapasiteyi yansıtmamasını engelleyebilmektedir (Freeman et al., 2017). Bu nedenle, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmalarında, ortamın tasarımı ve katılımcıların özellikleri dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır.

3. MEKÂNSAL HAFIZA: KURAMSAL TEMELLER VE NÖROBİYOLOJİK ALTYAPI

3.1. Mekânsal Hafızanın Tanımı ve Bileşenleri

Mekânsal hafıza, bireylerin çevresel düzenlemeleri, nesnelerin konumlarını ve mekânsal ilişkileri kodlama, depolama ve geri çağırma yeteneğini ifade etmektedir. Bu bilişsel süreç hem kısa süreli hem de uzun süreli hafıza sistemleriyle etkileşim hâlinindedir ve çeşitli alt bileşenlerden oluşmaktadır (Baddeley, 2012). Mekânsal hafızanın temel bileşenleri arasında mekânsal kodlama, mekânsal depolama ve mekânsal geri çağırma yer almaktadır. Mekânsal kodlama, çevresel bilgilerin algısal sistemler aracılığıyla işlenmesini ve hafızada temsil edilmesini sağlamaktadır. Mekânsal depolama, kodlanan bilgilerin kısa veya uzun süreli hafıza sistemlerinde tutulmasını ifade etmektedir. Mekânsal geri çağırma ise, depolanan bilgilerin gerektiğinde yeniden erişilmesini ve kullanılmasını kapsamaktadır (Ekstrom et al., 2018).

Mekânsal hafıza, aynı zamanda bilişsel haritaların oluşturulmasında ve çevresel bilginin yapılandırılmasında merkezi bir rol üstlenmektedir. Bilişsel haritalar, bireylerin çevrelerindeki mekânsal ilişkileri zihinsel olarak temsil etmelerini sağlayan içsel yapılardır (Tolman, 1948). Bu haritalar, yön bulma, rota planlama ve çevresel adaptasyon gibi işlevlerde kullanılmaktadır. Mekânsal hafızanın bu bileşenleri hem bireysel hem de toplumsal düzeyde işlevselliğin sürdürülmesinde kritik öneme sahiptir.

Mekânsal hafıza, ayrıca çeşitli bilişsel stratejilerin kullanılmasını gerektirmektedir. Bu stratejiler arasında rota tabanlı (egosentrik) ve harita tabanlı (allocentrik) stratejiler yer almaktadır. Rota tabanlı stratejiler, bireyin kendi hareketlerini ve dönüşlerini temel alırken, harita tabanlı stratejiler çevresel ipuçlarının ve mekânsal ilişkilerin bütüncül biçimde temsil edilmesini içermektedir (Wolbers & Hegarty, 2010). Bu stratejilerin kullanımı, bireyler arasında ve farklı yaş gruplarında değişiklik gösterebilmektedir.

3.2. Mekânsal Hafıza ile İlgili Nöroanatomik Yapılar

Mekânsal hafıza, çeşitli nöroanatomik yapılar tarafından desteklenmektedir. Bu yapılar arasında hipokampus, parahipokampal korteks, retrosplenial korteks ve prefrontal korteks öne çıkmaktadır (O'Keefe & Nadel, 1978). Hipokampus, mekânsal hafızanın kodlanması ve depolanmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Özellikle hipokampal “place cell”lerin, çevresel konumların temsil edilmesinde kritik işlev gördüğü gösterilmiştir (Moser, Kropff & Moser, 2008). Parahipokampal korteks ise, çevresel ipuçlarının işlenmesi ve mekânsal ilişkilerin bütünleştirilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir.

Retrosplenial korteks, mekânsal yönelim ve çevresel bağlamların işlenmesinde görev almaktadır. Bu bölge, özellikle harita tabanlı stratejilerin kullanılmasında ve çevresel ipuçlarının bütünleştirilmesinde etkin rol oynamaktadır (Vann, Aggleton & Maguire, 2009). Prefrontal korteks ise, mekânsal hafıza görevlerinde dikkat, planlama ve strateji kullanımını desteklemektedir. Bu yapıların bütünleşik işlevi, mekânsal hafıza performansının ortaya çıkmasında belirleyici olmaktadır.

Nöroanatomik yapıların mekânsal hafıza üzerindeki etkisi, yaş ve cinsiyet gibi bireysel farklılıklarla da ilişkilidir. Özellikle yaşlanma sürecinde hipokampal hacimde meydana gelen azalma, mekânsal hafıza performansında belirgin düşümlere yol açabilmektedir (Lester, Moffat & Wiener, 2017). Cinsiyet farklılıkları ise, hipokampal aktivasyonun ve strateji kullanımının farklılaşmasına neden olabilmektedir (Cahill, 2006).

3.3. Mekânsal Hafıza ve Bilişsel Haritalar

Bilişsel haritalar, bireylerin çevrelerindeki mekânsal ilişkileri zihinsel olarak temsil etmelerini sağlayan içsel yapılardır. Bu kavram, ilk olarak Tolman (1948) tarafından ortaya atılmış ve mekânsal hafızanın temel işlevlerinden biri olarak kabul edilmiştir. Bilişsel haritalar, çevresel bilgilerin bütünleştirilmesi, yön bulma ve rota planlama gibi işlevlerde kullanılmaktadır. Bu haritaların oluşturulması hem algısal hem de hafıza süreçlerinin bütünleşik işlevini gerektirmektedir (Ekstrom et al., 2018).

Bilişsel haritaların oluşturulmasında, çevresel ipuçlarının kodlanması ve mekânsal ilişkilerin bütünleştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu süreçte, hipokampus ve ilişkili kortikal yapılar merkezi bir rol oynamaktadır (O'Keefe & Nadel, 1978). Bilişsel haritaların doğruluğu ve ayrıntı düzeyi, bireyler arasında ve farklı yaş gruplarında değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, bilişsel haritaların kullanımı, cinsiyet ve yaş gibi bireysel farklılıklarla da ilişkilidir (Wolbers & Hegarty, 2010).

Bilişsel haritalar, sanal gerçeklik ortamlarında da oluşturulabilmekte ve bu ortamlar, bilişsel harita oluşumunun dinamiklerini incelemek açısından önemli bir araç sunmaktadır. Sanal gerçeklikte yürütülen araştırmalar, bilişsel haritaların oluşturulması ve kullanılması süreçlerinin gerçek dünyadaki süreçlerle yüksek oranda benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur (Richardson, Montello & Hegarty, 1999).

3.4. Mekânsal Hafızanın Gelişimsel ve Yaşamsal Süreçleri

Mekânsal hafıza, yaşam boyu gelişen ve çeşitli evrelerde farklılaşan bir bilişsel süreçtir. Çocukluk döneminde mekânsal hafıza kapasitesi hızla gelişmekte ve çevresel ilişkilerin kodlanması giderek daha karmaşık hâle gelmektedir (Newcombe & Huttenlocher, 2000). Ergenlik ve genç yetişkinlik dönemlerinde mekânsal hafıza performansı zirveye ulaşmakta, yaşlanma süreciyle birlikte ise belirgin bir gerileme gözlenmektedir (Lester, Moffat & Wiener, 2017).

Yaşlanma sürecinde, özellikle hipokampal işlevlerde meydana gelen dejeneratif değişiklikler, mekânsal hafıza performansında düşüşlere yol açmaktadır. Ancak, nöroplastisite ve kompensatuar stratejiler sayesinde bazı yaşlı bireylerde mekânsal hafıza performansının korunabildiği de gösterilmiştir (Greenwood, 2007). Gelişimsel süreçlerde, çevresel deneyimlerin ve öğrenmenin mekânsal hafıza kapasitesini artırdığı, çevresel zenginliğin ise bilişsel harita oluşumunu desteklediği belirtilmektedir (Clemenson & Stark, 2015).

Mekânsal hafızanın gelişimsel süreçleri, aynı zamanda cinsiyet ve yaş faktörlerinin etkisiyle de şekillenmektedir. Çocukluk ve ergenlik dönemlerinde cinsiyet farklılıkları belirginleşmekte, yaşlanma sürecinde ise bu farklılıkların boyutu ve yönü değişebilmektedir (Voyer, Voyer & Bryden, 1995). Bu süreçlerin ayrıntılı biçimde incelenmesi, mekânsal hafıza performansının anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir.

4. CİNSİYETİN MEKÂNSAL HAFIZA PERFORMANSINA ETKİSİ

4.1. Cinsiyete Dayalı Bilişsel Farklılıklar: Teorik Yaklaşımlar

Cinsiyet temelli bilişsel farklılıklar, özellikle mekânsal yetenekler alanında uzun süredir tartışılan bir konudur. Bu farklılıkların kökenine dair çeşitli teorik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Evrimsel psikoloji perspektifine göre, erkeklerin ve kadınların tarihsel olarak farklı çevresel taleplerle karşılaşmaları, mekânsal yeteneklerin cinsiyete özgü biçimde evrilmesine yol açmıştır. Örneğin, erkeklerin avcılık ve yön bulma gibi görevlerde daha etkin olmaları, mekânsal rotasyon ve navigasyon becerilerinin gelişimini desteklemiştir (Silverman, Choi & Peters, 2007). Buna karşılık, kadınların toplama ve yerel çevreye dair ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyması, nesne-konum hafızası gibi mekânsal alt becerilerde avantaj sağlamıştır (McBurney, Gaulin, Devineni & Adams, 1997).

Sosyal-kültürel yaklaşımlar ise, cinsiyet farklılıklarının toplumsal roller, beklentiler ve eğitimsel deneyimlerle şekillendiğini öne sürmektedir. Toplumsal cinsiyet normları, bireylerin belirli bilişsel stratejileri geliştirmesini teşvik edebilir veya engelleyebilir. Örneğin, erkek çocukların daha fazla açık alan oyunlarına katılması, mekânsal navigasyon becerilerinin gelişimini destekleyebilirken, kız çocukların daha çok kapalı alanlarda oyun oynaması, farklı bilişsel stratejilerin gelişmesine yol açabilir (Baenninger & Newcombe, 1989). Bu bağlamda, cinsiyet farklılıklarının yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda çevresel ve kültürel faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıktığı vurgulanmaktadır.

Bilişsel psikoloji literatüründe, cinsiyet farklılıklarının büyüklüğü ve tutarlılığı konusunda çeşitli bulgular mevcuttur. Meta-analizler, erkeklerin mekânsal rotasyon ve yön bulma görevlerinde kadınlara kıyasla daha yüksek performans gösterdiğini, ancak bu farklılıkların görev türüne ve ölçüm yöntemine bağlı olarak değişebildiğini göstermektedir (Voyer, Voyer & Bryden, 1995). Ayrıca, cinsiyet farklılıklarının yaş, eğitim düzeyi ve deneyim gibi değişkenlerle de etkileşim içinde olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, cinsiyet temelli bilişsel farklılıkların anlaşılması, çok boyutlu bir analiz gerektirmektedir.

4.2. Sanal Gerçeklikte Cinsiyet Temelli Mekânsal Hafıza Performansı Bulguları

Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmaları, cinsiyet temelli bilişsel farklılıkların yeni bir boyutunu ortaya koymaktadır. Literatürde, erkeklerin sanal labirent ve navigasyon görevlerinde kadınlara kıyasla daha yüksek performans gösterdiği sıklıkla rapor edilmiştir (Astur, Ortiz & Sutherland, 1998). Bu bulgu, geleneksel laboratuvar görevlerinde gözlenen cinsiyet farklılıklarının sanal ortamlarda da sürdüğünü göstermektedir. Ancak, bazı araştırmalar sanal gerçeklikteki cinsiyet farklılıklarının, gerçek dünyadaki kadar belirgin olmadığını ve ortamın tasarımına, görev türüne ve katılımcıların teknolojiye aşinalığına bağlı olarak değişebildiğini belirtmektedir (Coutrot et al., 2022).

Sanal gerçeklikte cinsiyet temelli performans farklılıklarının nedenleri arasında, bilişsel strateji kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Erkeklerin genellikle harita tabanlı (allocentrik) stratejileri tercih ettiği, kadınların ise rota tabanlı (egosentrik) stratejilere daha fazla başvurduğu gösterilmiştir (Lawton, 1994). Bu strateji farklılıkları, sanal ortamlarda da benzer biçimde gözlenmekte ve performans üzerinde belirleyici olmaktadır. Ayrıca, sanal gerçeklikteki görsel-uzamsal ipuçlarının türü ve sunum biçimi, cinsiyet farklılıklarının boyutunu etkileyebilmektedir (Clemenson & Stark, 2015).

Bazı çalışmalar, sanal gerçeklik ortamlarında cinsiyet farklılıklarının teknolojiye aşinalık ve deneyimle azalabileceğini öne sürmektedir. Özellikle kadın katılımcıların sanal ortamlara alıştıktan sonra performanslarının

arttığı ve cinsiyet farkının azaldığı rapor edilmiştir (Cutmore et al., 2000). Bu bulgu, cinsiyet temelli bilişsel farklılıkların esnek ve deneyime duyarlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, sanal gerçeklikte cinsiyet farklılıklarının değerlendirilmesinde, deneyim ve teknolojiye aşinalık gibi değişkenlerin dikkate alınması gerekmektedir.

4.3. Hormonal ve Nörobiyolojik Mekanizmalar

Cinsiyet temelli mekânsal hafıza farklılıklarının altında yatan biyolojik mekanizmalar, özellikle hormonal etkiler ve nöroanatomik farklılıklar açısından incelenmiştir. Östrojen ve testosteron gibi cinsiyet hormonlarının, hipokampal işlevler ve mekânsal hafıza üzerinde önemli etkileri olduğu gösterilmiştir (Hampson, 2018). Östrojen düzeylerindeki dalgalanmaların, kadınlarda mekânsal hafıza performansını etkileyebildiği, özellikle menstrual döngünün belirli evrelerinde performansın değişebildiği rapor edilmiştir (Postma, Winkel, Tuiten & van Honk, 1999). Testosteronun ise, erkeklerde mekânsal rotasyon ve navigasyon becerilerini desteklediği öne sürülmektedir (Puts et al., 2010).

Nöroanatomik düzeyde, hipokampusun cinsiyete bağlı olarak farklı hacim ve aktivasyon paternleri gösterebildiği belirtilmiştir. Erkeklerin hipokampal hacminin, kadınlara kıyasla belirli alt bölgelerde daha büyük olabileceği ve bu durumun mekânsal hafıza performansına katkı sağlayabileceği öne sürülmektedir (Giedd et al., 1996). Ayrıca, fonksiyonel görüntüleme çalışmaları, erkeklerin ve kadınların mekânsal görevlerde farklı beyin bölgelerini aktive ettiğini göstermiştir. Erkekler genellikle sağ hipokampusu ve parietal korteksi daha fazla aktive ederken, kadınlar prefrontal ve temporal bölgeleri daha fazla kullanabilmektedir (Grön et al., 2000).

Hormonal ve nörobiyolojik mekanizmaların cinsiyet temelli mekânsal hafıza farklılıklarındaki rolü, çevresel ve deneyimsel faktörlerle de etkileşim içindedir. Bu nedenle, cinsiyet farklılıklarının biyolojik temelleri, çok boyutlu bir çerçevede ele alınmalıdır.

4.4. Kültürel ve Sosyal Etkenler

Cinsiyet temelli mekânsal hafıza farklılıklarının yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda kültürel ve sosyal etkenlerle de şekillendiği literatürde vurgulanmaktadır. Toplumsal cinsiyet rolleri, bireylerin mekânsal görevlerdeki motivasyonunu, strateji kullanımını ve özgüvenini etkileyebilmektedir (Nash, 1979). Örneğin, erkeklerin mekânsal görevlerde daha fazla cesaretlendirilmesi ve başarılarının daha fazla ödüllendirilmesi, bu alandaki performans farklarının pekişmesine yol açabilmektedir. Kadınların ise mekânsal görevlerde başarısız olacağına dair toplumsal beklentilerle karşılaşması, özgüven eksikliği ve performans kaygısı yaratabilmektedir (Moè, 2009).

Kültürel farklılıklar da cinsiyet temelli bilişsel farklılıkların boyutunu ve yönünü etkileyebilmektedir. Farklı toplumlarda, kadın ve erkeklerin mekânsal görevlerdeki deneyimleri, eğitim olanakları ve sosyal beklentileri değişiklik gösterebilmektedir (Lippa, Collaer & Peters, 2010). Bu durum, cinsiyet farklılıklarının evrensel değil, kültüre özgü biçimde ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Ayrıca, eğitim ve teknolojiye erişim olanaklarının artması, cinsiyet temelli farkların azalmasına katkı sağlayabilmektedir (Nazareth, Herrera, Pruden & Newcombe, 2019).

Sosyal ve kültürel etkenlerin cinsiyet temelli mekânsal hafıza performansındaki rolü, biyolojik ve deneyimsel faktörlerle birlikte çok boyutlu bir analiz gerektirmektedir. Bu nedenle, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen araştırmalarda, kültürel bağlam ve toplumsal cinsiyet normlarının dikkate alınması önem taşımaktadır.

5. YAŞIN MEKÂNSAL HAFIZA PERFORMANSINA ETKİSİ

5.1. Yaşlanma ve Bilişsel Gerileme: Kuramsal Çerçeve

Yaşlanma süreci, bilişsel işlevlerde belirgin değişikliklere yol açmakta ve bu değişiklikler arasında mekânsal hafıza performansındaki gerileme öne çıkmaktadır. Yaşlanma ile birlikte, özellikle hipokampal hacimde ve işlevde azalma gözlenmekte, bu durum mekânsal kodlama, depolama ve geri çağırma süreçlerinde bozulmalara neden olmaktadır (Raz et al., 2005). Bilişsel rezerv teorisi, yaşlı bireylerin yaşam boyu edindikleri deneyim ve bilgi birikiminin, yaşa bağlı bilişsel gerilemeyi kısmen telafi edebileceğini öne sürmektedir (Stern, 2009). Ancak, yaşlanma sürecinde özellikle yeni mekânsal bilgilerin öğrenilmesi ve karmaşık çevresel ilişkilerin kodlanması güçleşmektedir.

Yaşlanmaya bağlı bilişsel gerileme, yalnızca hafıza sistemlerinde değil, aynı zamanda dikkat, yürütücü işlevler ve işlem hızı gibi bilişsel alanlarda da kendini göstermektedir (Salthouse, 2010). Bu alanlardaki bozulmalar, mekânsal hafıza görevlerinde strateji kullanımını ve çevresel ipuçlarının bütünleştirilmesini zorlaştırabilmektedir. Ayrıca, yaşlı bireylerde mekânsal hafıza performansındaki düşüş, günlük yaşamda bağımsızlık kaybı ve yön bulma güçlükleri gibi pratik sorunlara yol açabilmektedir (Coughlan et al., 2018).

Kuramsal olarak, yaşlanma sürecinde görülen mekânsal hafıza gerilemesi hem nöroanatomik değişiklikler hem de bilişsel stratejilerdeki farklılaşmalarla açıklanmaktadır. Yaşlı bireyler, gençlere kıyasla daha fazla rota tabanlı

stratejilere başvurmakta ve harita tabanlı stratejileri daha az kullanabilmektedir (Moffat, 2009). Bu strateji değişikliği, hipokampal işlevlerdeki azalma ile ilişkili olabilir. Ayrıca, yaşlı bireylerde motivasyon, teknolojiye aşinalık ve görev kaygısı gibi faktörler de performansı etkileyebilmektedir.

5.2. Sanal Gerçeklikte Yaşa Bağlı Mekânsal Hafıza Performansı Bulguları

Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen araştırmalar, yaşa bağlı mekânsal hafıza performansındaki değişiklikleri ayrıntılı biçimde inceleme olanağı sunmaktadır. Literatürde, yaşlı bireylerin sanal labirent ve navigasyon görevlerinde genç yetişkinlere kıyasla daha düşük performans gösterdiği sıklıkla rapor edilmiştir (Jansen et al., 2010). Bu bulgu, yaşlanma sürecinin mekânsal hafıza üzerindeki olumsuz etkilerini sanal ortamlarda da doğrulamaktadır. Özellikle yeni rotaların öğrenilmesi, çevresel ipuçlarının bütünleştirilmesi ve hedefe ulaşma süresi gibi ölçütlerde yaşlı bireylerin performansında belirgin düşüşler gözlenmektedir (Moffat, 2009).

Sanal gerçeklikte yaşa bağlı performans farklılıklarının nedenleri arasında, hipokampal işlevlerdeki azalma, yürütücü işlevlerdeki bozulma ve teknolojiye aşinalık eksikliği öne çıkmaktadır (Plancher et al., 2012). Ayrıca, yaşlı bireylerin sanal ortamlarda daha fazla baş dönmesi ve uyum sorunu yaşadığı, bu durumun da performansı olumsuz etkileyebildiği belirtilmiştir (Kober et al., 2013). Bununla birlikte, bazı araştırmalar yaşlı bireylerin sanal gerçeklik ortamlarına alıştıktan sonra performanslarının arttığını ve yaş farkının kısmen azaldığını göstermektedir (Cushman, Stein & Duffy, 2008).

Yaşlı bireylerin sanal gerçeklikteki mekânsal hafıza performansını artırmak için, ortamın tasarımı, görev zorluğu ve kullanıcı arayüzünün sadeliği gibi faktörlerin dikkate alınması önerilmektedir. Ayrıca, teknolojiye aşinalık ve eğitim programlarının, yaşlı bireylerin sanal ortamlarda daha iyi performans göstermesine katkı sağlayabileceği vurgulanmaktadır (Plancher et al., 2012).

5.3. Nöroplastisite ve Kompansatuar Mekanizmalar

Yaşlanma sürecinde görülen bilişsel gerilemeye rağmen, beyin plastisitesi ve kompensatuar mekanizmalar sayesinde bazı yaşlı bireylerde mekânsal hafıza performansının korunabildiği gösterilmiştir. Nöroplastisite, beyin yeni bağlantılar kurma ve işlevsel yeniden yapılanma kapasitesini ifade etmektedir (Greenwood, 2007). Yaşlı bireyler, yeni stratejiler geliştirerek veya alternatif beyin bölgelerini aktive ederek mekânsal hafıza görevlerinde performanslarını sürdürebilmektedir. Fonksiyonel görüntüleme çalışmaları, yaşlı bireylerin gençlere kıyasla daha geniş beyin ağlarını kullandığını ve bu durumun kompensatuar bir mekanizma olabileceğini göstermektedir (Cabeza et al., 2002).

Kompansatuar stratejiler arasında, çevresel ipuçlarının daha etkin kullanımı, dışsal hafıza desteklerinin (örneğin, not alma, işaret kullanma) artırılması ve görev sırasında dikkat odaklanmasının güçlendirilmesi yer almaktadır (Park & Reuter-Lorenz, 2009). Ayrıca, fiziksel aktivite, bilişsel eğitim ve zengin çevresel deneyimlerin, yaşlı bireylerde nöroplastisiteyi desteklediği ve mekânsal hafıza performansını artırdığı rapor edilmiştir (Erickson et al., 2011).

Nöroplastisite ve kompensatuar mekanizmaların etkinliği, bireysel farklılıklarla ilişkilidir. Yaşlı bireylerin yaşam boyu edindikleri deneyim, eğitim düzeyi ve bilişsel rezerv, bu mekanizmaların başarısını belirleyebilmektedir (Stern, 2009). Bu nedenle, yaşlanma sürecinde mekânsal hafıza performansının korunması için çok boyutlu müdahale ve destek programlarının geliştirilmesi önerilmektedir.

5.4. Gelişimsel Dönemler ve Mekânsal Hafıza

Mekânsal hafıza, yaşam boyu gelişen ve farklı yaş dönemlerinde değişen bir bilişsel süreçtir. Çocukluk döneminde mekânsal hafıza kapasitesi hızla artmakta, ergenlik ve genç yetişkinlikte ise zirveye ulaşmaktadır (Newcombe & Huttenlocher, 2000). Bu gelişimsel süreçte, çevresel deneyimler, eğitim ve oyun aktiviteleri mekânsal hafıza becerilerinin gelişimini desteklemektedir. Özellikle açık alan oyunları, yapılandırılmış eğitim programları ve teknoloji tabanlı uygulamalar, çocukların mekânsal ilişkileri kavrama ve kodlama becerilerini artırabilmektedir (Uttal et al., 2013).

Yaşlanma sürecinde ise, mekânsal hafıza performansında belirgin bir gerileme gözlenmektedir. Bu gerileme hem nöroanatomik değişiklikler hem de bilişsel stratejilerdeki farklılaşmalarla ilişkilidir (Lester, Moffat & Wiener, 2017). Ancak, yaşam boyu öğrenme, aktif yaşam tarzı ve bilişsel zenginlik, yaşlı bireylerin mekânsal hafıza kapasitesini korumasına katkı sağlayabilmektedir. Gelişimsel dönemler boyunca, cinsiyet ve yaş faktörlerinin mekânsal hafıza üzerindeki etkisi, çevresel ve bireysel değişkenlerle etkileşim içindedir.

Gelişimsel perspektiften bakıldığında, mekânsal hafıza performansının değerlendirilmesi ve desteklenmesi hem çocuklarda hem de yaşlılarda bilişsel kapasitenin artırılması açısından önem taşımaktadır. Sanal gerçeklik ortamları, farklı yaş gruplarında mekânsal hafıza becerilerinin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için yenilikçi olanaklar

sunmaktadır (Clemenson & Stark, 2015).

6. CİNSİYET VE YAŞ ETKİLEŞİMİ: SANAL GERÇEKTE MEKÂNSAL HAFIZA

6.1. Cinsiyet ve Yaşın Birlikte Etkisi: Ampirik Bulgular

Cinsiyet ve yaş, mekânsal hafıza performansında birbirinden bağımsız etkiler gösterebildiği gibi, etkileşimli biçimde de performansı şekillendirebilmektedir. Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen ampirik araştırmalar, genç erkeklerin genellikle en yüksek mekânsal hafıza performansını gösterdiğini, yaşlı kadınların ise en düşük performansa sahip olduğunu ortaya koymuştur (Moffat, Zonderman & Resnick, 2001). Bu bulgu, cinsiyet ve yaş etkilerinin toplandığı ve bazı gruplarda performans farklarının daha belirginleştiği bir tabloyu işaret etmektedir.

Bazı çalışmalar, yaşlanma sürecinde cinsiyet farklılıklarının azaldığını, özellikle ileri yaşlarda kadın ve erkeklerin mekânsal hafıza performansının birbirine yaklaştığını rapor etmiştir (Jansen et al., 2010). Bunun nedeni, yaşlanma ile birlikte hem erkeklerde hem de kadınlarda hipokampal işlevlerde benzer düzeyde gerileme yaşanması olabilir. Ancak, bazı bulgular yaşlı erkeklerin, yaşlı kadınlara kıyasla hâlâ daha iyi performans gösterebildiğini, bunun da yaşam boyu edinilen deneyim ve bilişsel rezervle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Moffat, 2009).

Cinsiyet ve yaş etkileşiminin mekânsal hafıza performansındaki rolü, görev türüne, ortamın tasarımına ve katılımcıların teknolojiye aşinalığına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen araştırmalarda, cinsiyet ve yaş değişkenlerinin birlikte analiz edilmesi ve etkileşimsel modellerin kullanılması önerilmektedir.

6.2. Etkileşimsel Modeller ve Açıklamalar

Cinsiyet ve yaşın mekânsal hafıza üzerindeki etkileşimini açıklamak için çeşitli teorik modeller geliştirilmiştir. Bilişsel rezerv modeli, yaşam boyu edinilen deneyim, eğitim ve bilişsel zenginliğin, yaşlanma sürecinde cinsiyet farklılıklarını azaltabileceğini öne sürmektedir (Stern, 2009). Bu modele göre, yüksek bilişsel rezervi olan bireyler, yaşlanma sürecinde bilişsel gerilemeyi daha iyi telafi edebilmekte ve cinsiyet farkları azalabilmektedir.

Bir diğer açıklama, strateji farklılıkları modelidir. Bu modele göre, erkekler ve kadınlar yaşam boyu farklı mekânsal stratejiler geliştirmekte ve yaşlanma sürecinde bu stratejilerde değişiklikler meydana gelmektedir (Lawton, 1994). Yaşlı bireyler, gençlere kıyasla daha fazla rota tabanlı stratejilere başvurmakta ve bu durum cinsiyet farklarının azalmasına yol açabilmektedir. Ayrıca, hormonal değişiklikler ve nöroanatomik farklılıklar da etkileşimsel modellerde dikkate alınmaktadır (Hampson, 2018).

Etkileşimsel modeller, cinsiyet ve yaş faktörlerinin mekânsal hafıza üzerindeki etkisinin, çevresel, biyolojik ve deneyimsel faktörlerin karmaşık etkileşimiyle ortaya çıktığını vurgulamaktadır. Bu nedenle, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen araştırmalarda, çok boyutlu analizlerin yapılması ve etkileşimsel modellerin test edilmesi önem taşımaktadır.

6.3. Bilişsel Stratejiler ve Farklılaşma

Mekânsal hafıza performansında cinsiyet ve yaş etkileşiminin önemli bir boyutu, bilişsel strateji kullanımındaki farklılaşmadır. Erkekler genellikle harita tabanlı (allocentrik) stratejileri tercih ederken, kadınlar rota tabanlı (egosentrik) stratejilere daha fazla başvurmaktadır (Wolbers & Hegarty, 2010). Yaşlanma sürecinde ise, her iki cinsiyet de daha fazla rota tabanlı stratejilere yönelmekte ve harita tabanlı stratejilerin kullanımı azalmaktadır (Moffat, 2009).

Sanal gerçeklik ortamlarında, bilişsel strateji kullanımının performans üzerindeki etkisi daha belirgin hâle gelebilmektedir. Ortamın tasarımı, ipuçlarının türü ve görev zorluğu, bireylerin hangi stratejiyi kullanacağını belirleyebilmektedir (Clemenson & Stark, 2015). Ayrıca, teknolojiye aşinalık ve eğitim düzeyi, bilişsel strateji kullanımını etkileyen önemli faktörler arasındadır. Bu nedenle, sanal gerçeklikte mekânsal hafıza performansının değerlendirilmesinde, strateji kullanımının ayrıntılı biçimde analiz edilmesi gerekmektedir.

Bilişsel strateji farklılıklarının anlaşılması hem teorik hem de uygulamalı düzeyde önemli katkılar sağlamaktadır. Özellikle eğitim ve rehabilitasyon programlarının tasarımında, bireylerin tercih ettiği stratejilerin desteklenmesi ve alternatif stratejilerin öğretilmesi, mekânsal hafıza performansının artırılmasına katkı sağlayabilir (Uttal et al., 2013).

6.4. Geleceğe Yönelik Araştırma Alanları

Cinsiyet ve yaş etkileşiminin sanal gerçeklikte mekânsal hafıza üzerindeki etkisi, gelecekteki araştırmalar için zengin bir alan sunmaktadır. Öncelikle, farklı kültürel bağlamlarda cinsiyet ve yaş etkilerinin karşılaştırılması, evrensel ve kültüre özgü farklılıkların anlaşılmasına katkı sağlayacaktır (Nazareth et al., 2019). Ayrıca, hormonal değişikliklerin ve nöroanatomik farklılıkların sanal gerçeklikteki performansa etkisinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesi

gerekmektedir.

Gelecekteki araştırmalarda, sanal gerçeklik ortamlarının tasarımında bireysel farklılıkların dikkate alınması, performansın daha hassas ve geçerli biçimde ölçülmesine olanak tanıyacaktır. Ayrıca, eğitim ve rehabilitasyon programlarının sanal gerçeklik tabanlı olarak geliştirilmesi, yaşlı ve düşük performanslı bireylerin mekânsal hafıza becerilerinin artırılmasına katkı sağlayabilir (Clemenson & Stark, 2015).

Son olarak, uzunlamasına ve deneysel araştırmalarla, cinsiyet ve yaş etkileşiminin mekânsal hafıza üzerindeki dinamik etkilerinin izlenmesi, bu alandaki bilgi birikimini derinleştirecektir. Sanal gerçeklik teknolojilerinin hızla gelişmesi, bu tür araştırmalar için yeni olanaklar sunmaktadır.

7. SANAL GERÇEKLIK ORTAMLARINDA MEKÂNSAL HAFIZA ARAŞTIRMALARININ SINIRLILIKLARI VE YÖNTEMSSEL TARTIŞMALAR

7.1. Ölçme Araçları ve Validite Sorunları

Sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza performansının değerlendirilmesinde kullanılan ölçme araçları, geçerlilik ve güvenilirlik açısından çeşitli tartışmalara konu olmaktadır. Öncelikle, sanal gerçeklik tabanlı görevlerin gerçek dünyadaki mekânsal hafıza süreçlerini ne ölçüde temsil ettiği, ekolojik geçerlilik açısından sorgulanmaktadır (Richardson, Montello & Hegarty, 1999). Sanal ortamlarda kullanılan labirentler, yol bulma görevleri ve nesne-konum eşleştirme testleri, bilişsel süreçlerin yalnızca belirli bir yönünü ölçebilmekte; bu nedenle, elde edilen sonuçların genellenebilirliği sınırlı olabilmektedir. Ayrıca, sanal gerçeklikteki algısal ve motor deneyimlerin gerçek dünyadan farklılaşması, ölçüm sonuçlarının geçerliliğini etkileyebilmektedir (Montello et al., 2004).

Bir diğer önemli sorun, ölçme araçlarının standardizasyonudur. Farklı araştırmalarda kullanılan sanal gerçeklik görevlerinin tasarımı, zorluk düzeyi, ipucu çeşitliliği ve kullanıcı arayüzü gibi değişkenler, sonuçların karşılaştırılabilirliğini zorlaştırmaktadır (Parsons et al., 2017). Bu durum, meta-analiz ve sistematik derlemelerde bulguların bütünleştirilmesini güçleştirmektedir. Ayrıca, ölçme araçlarının duyarlılığı ve hata payı, özellikle yaşlı ve teknolojiye aşina olmayan katılımcılarda performansın gerçek bilişsel kapasiteyi yansıtmamasını engelleyebilmektedir (Kober et al., 2013).

Validite sorunlarının aşılması için, sanal gerçeklik tabanlı ölçme araçlarının gerçek dünya görevleriyle karşılaştırılması ve çapraz doğrulama çalışmalarının artırılması önerilmektedir. Ayrıca, ölçme araçlarının standardizasyonu ve görev protokollerinin ayrıntılı biçimde raporlanması, araştırma bulgularının güvenilirliğini artıracaktır (Clemenson & Stark, 2015).

7.2. Ekolojik Geçerlilik ve Transfer Edilebilirlik

Sanal gerçeklik ortamlarının en önemli avantajlarından biri, gerçek dünyadaki karmaşık mekânsal ilişkilerin laboratuvar ortamında simüle edilebilmesidir. Ancak, bu ortamların ekolojik geçerliliği ve gerçek dünyadaki davranışlara transfer edilebilirliği, literatürde tartışmalı bir konudur (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Bazı araştırmalar, sanal gerçeklikte elde edilen mekânsal hafıza performansının gerçek dünyadaki performansla yüksek oranda ilişkili olduğunu göstermiştir (Richardson, Montello & Hegarty, 1999). Ancak, diğer çalışmalar, sanal ortamlardaki algısal ipuçlarının sınırlı olması, hareketin kısıtlanması ve dokunsal geri bildirimin eksikliği gibi nedenlerle, performansın gerçek dünyadan farklılaşabileceğini belirtmiştir (Chance et al., 1998).

Ekolojik geçerlilik, özellikle yaşlı ve teknolojiye aşina olmayan bireylerde daha fazla sorun teşkil edebilmektedir. Bu gruplar, sanal ortamlarda daha fazla baş dönmesi, uyum sorunu ve motivasyon eksikliği yaşayabilmekte; bu durum, performansın gerçek yaşam becerilerini yansıtmamasını engelleyebilmektedir (Kober et al., 2013). Ayrıca, sanal gerçeklikte öğrenilen mekânsal bilgilerin gerçek dünyaya ne ölçüde transfer edilebildiği, halen araştırılması gereken bir alandır (Plancher et al., 2012).

Ekolojik geçerliliğin artırılması için, sanal gerçeklik ortamlarının gerçek dünyadaki çevresel ipuçlarını ve etkileşim biçimlerini daha iyi yansıtacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, transfer çalışmalarıyla, sanal ortamda edinilen mekânsal bilgilerin gerçek dünyadaki yön bulma ve navigasyon becerilerine etkisi ayrıntılı biçimde incelenmelidir (Cushman, Stein & Duffy, 2008).

7.3. Katılımcı Profili ve Temsil Edilebilirlik

Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmalarının bir diğer sınırlılığı, katılımcı profili ve örneklemin temsil edilebilirliğidir. Literatürde, çoğu araştırmanın üniversite öğrencileri veya genç yetişkinler üzerinde yürütüldüğü, yaşlı bireyler, çocuklar ve farklı sosyoekonomik grupların ise yeterince temsil edilmediği görülmektedir (Clemenson & Stark, 2015). Bu durum, elde edilen bulguların genellenebilirliğini ve toplumsal düzeyde uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

Ayrıca, teknolojiye aşinalık, eğitim düzeyi ve kültürel farklılıklar, katılımcıların sanal gerçeklik ortamlarındaki performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Nazareth et al., 2019). Özellikle yaşlı bireyler ve düşük eğitim düzeyine sahip katılımcılar, sanal ortamlarda daha fazla uyum sorunu yaşayabilmekte ve bu durum, performansın gerçek bilişsel kapasiteyi yansıtmamasını engelleyebilmektedir (Kober et al., 2013). Katılımcı profiliyle ilgili bir diğer sorun ise, cinsiyet dağılımının dengesiz olması ve bazı araştırmalarda kadın veya erkek katılımcıların aşırı temsil edilmesidir.

Bu sınırlılıkların aşılması için, daha geniş ve çeşitli katılımcı gruplarının araştırmalara dâhil edilmesi, örneklemin demografik özelliklerinin ayrıntılı biçimde raporlanması ve kültürel bağlamın dikkate alınması gerekmektedir (Lippa, Collaer & Peters, 2010).

7.4. Etik ve Pratik Zorluklar

Sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmaları, etik ve pratik açıdan da çeşitli zorluklar içermektedir. Öncelikle, sanal gerçeklik deneyimlerinin bazı katılımcılarda baş dönmesi, mide bulantısı ve göz yorgunluğu gibi fiziksel rahatsızlıklara yol açabileceği rapor edilmiştir (Kober et al., 2013). Bu durum, özellikle yaşlı ve hassas gruplarda araştırma sürecinin etik açıdan dikkatli yürütülmesini gerektirmektedir. Katılımcıların bilgilendirilmiş onamının alınması, deney sırasında rahatsızlık hissettiklerinde araştırmadan çekilme haklarının vurgulanması önem taşımaktadır.

Pratik zorluklar arasında, sanal gerçeklik donanımının maliyeti, teknik arızalar ve yazılım uyumsuzlukları yer almaktadır. Ayrıca, veri güvenliği ve katılımcı gizliliği, sanal ortamlarda toplanan ayrıntılı davranışsal verilerin korunması açısından önemlidir (Freeman et al., 2017). Etik kuralların titizlikle uygulanması hem katılımcıların güvenliğini sağlamak hem de araştırma bulgularının güvenilirliğini artırmak için gereklidir.

Etik ve pratik zorlukların aşılması için, araştırma protokollerinin önceden etik kurullardan onay alınarak yürütülmesi, katılımcıların deneyimlerinin sürekli izlenmesi ve olası risklerin en aza indirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, sanal gerçeklik teknolojilerinin erişilebilirliğinin artırılması, daha geniş katılımcı gruplarının araştırmalara dâhil edilmesini kolaylaştıracaktır (Slater & Sanchez-Vives, 2016).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. Literatürün Genel Değerlendirmesi

Sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza performansının cinsiyet ve yaş değişkenleri açısından incelenmesi, bilişsel psikoloji ve nörobilim alanında önemli bir bilgi birikimi oluşturmıştır. Literatürde, erkeklerin ve genç yetişkinlerin sanal gerçeklik tabanlı mekânsal görevlerde genellikle daha yüksek performans gösterdiği, kadınların ve yaşlı bireylerin ise belirli görevlerde dezavantajlı olabildiği ortaya konmuştur (Astur, Ortiz & Sutherland, 1998; Jansen et al., 2010). Bu farklılıkların altında, hormonal, nöroanatomi, bilişsel strateji ve kültürel etkenlerin karmaşık bir etkileşimi yatmaktadır (Cahill, 2006; Hampson, 2018).

Sanal gerçeklik ortamlarının, mekânsal hafıza süreçlerinin ekolojik geçerli ve hassas biçimde değerlendirilmesine olanak tanıdığı, ancak ölçme araçlarının standardizasyonu, ekolojik geçerlilik ve katılımcı profili gibi sınırlılıkların bulunduğu görülmektedir (Parsons et al., 2017; Richardson, Montello & Hegarty, 1999). Ayrıca, teknolojiye aşinalık ve deneyim gibi bireysel farklılıkların, performans üzerinde önemli etkileri olduğu vurgulanmaktadır (Cutmore et al., 2000).

Genel olarak, sanal gerçeklik ortamlarında yürütülen mekânsal hafıza araştırmaları, cinsiyet ve yaş faktörlerinin bilişsel süreçlerdeki rolünü anlamada önemli katkılar sağlamış, ancak bulguların genellenebilirliği ve uygulama alanları açısından daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır.

8.2. Uygulama Alanları ve Pratik Çıkarımlar

Sanal gerçeklik tabanlı mekânsal hafıza değerlendirme ve eğitim programları, çeşitli uygulama alanlarında pratik faydalar sunmaktadır. Özellikle yaşlı bireylerde bilişsel gerilemenin erken tespiti ve rehabilitasyonu, sanal gerçeklik teknolojilerinin sunduğu yenilikçi yaklaşımlar sayesinde daha etkin biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Coughlan et al., 2018). Ayrıca, eğitim alanında, çocukların ve gençlerin mekânsal becerilerinin geliştirilmesi için sanal gerçeklik tabanlı uygulamalar giderek yaygınlaşmaktadır (Uttal et al., 2013).

Cinsiyet ve yaş farklılıklarının dikkate alınması, bireyselleştirilmiş eğitim ve rehabilitasyon programlarının tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, kadınların ve yaşlı bireylerin daha fazla desteklenmesi, strateji eğitimi ve teknolojiye aşinalık programlarıyla performanslarının artırılması mümkündür (Plancher et al., 2012). Ayrıca, sanal gerçeklik tabanlı uygulamaların erişilebilirliğinin artırılması, farklı sosyoekonomik ve kültürel grupların da bu teknolojilerden faydalanmasını sağlayacaktır.

Pratik çıkarımlar arasında, sanal gerçeklik ortamlarının tasarımında kullanıcı dostu arayüzlerin geliştirilmesi, görev zorluğunun bireysel farklılıklara göre ayarlanması ve katılımcıların motivasyonunun artırılması yer almaktadır (Freeman et al., 2017). Bu yaklaşımlar, sanal gerçeklik tabanlı mekânsal hafıza uygulamalarının etkinliğini ve yaygınlığını artıracaktır.

8.3. Gelecekteki Araştırmalar İçin Yönlendirmeler

Sanal gerçeklik ortamlarında mekânsal hafıza performansının cinsiyet ve yaş değişkenleri açısından incelenmesi, gelecekteki araştırmalar için çeşitli yönlendirmeler sunmaktadır. Öncelikle, farklı kültürel bağlamlarda yürütülecek karşılaştırmalı araştırmalar, cinsiyet ve yaş etkilerinin evrenselliği ve kültüre özgü boyutları hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlayacaktır (Nazareth et al., 2019). Ayrıca, hormonal ve nöroanatomik farklılıkların sanal gerçeklikteki performansa etkisinin daha derinlemesine incelenmesi gerekmektedir (Hampson, 2018).

Gelecekteki araştırmalarda, uzunlamasına tasarımlar ve deneysel müdahalelerle, cinsiyet ve yaş etkileşiminin mekânsal hafıza üzerindeki dinamik etkileri izlenmelidir. Ayrıca, sanal gerçeklik ortamlarının gerçek dünyadaki davranışlara transfer edilebilirliğini artıracak tasarım ve eğitim stratejileri geliştirilmelidir (Clemenson & Stark, 2015). Katılımcı profili açısından, daha geniş ve çeşitli örneklemelerle, bulguların genellenebilirliği güçlendirilmelidir.

Son olarak, etik ve pratik zorlukların aşılması için, sanal gerçeklik teknolojilerinin erişilebilirliğinin artırılması, kullanıcı güvenliğinin sağlanması ve veri gizliliğinin korunması gerekmektedir (Slater & Sanchez-Vives, 2016). Bu önlemler, sanal gerçeklik tabanlı mekânsal hafıza araştırmalarının toplumsal düzeyde daha yaygın ve etkili biçimde uygulanmasını sağlayacaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazar olarak, “Sanal Gerçeklik Ortamında Mekânsal Hafıza Performansı: Cinsiyet ve Yaş Etkileri” başlıklı bu çalışmanın hazırlanmasında ve yayımlanmasında akademik etik ilkelere tam olarak bağlı kalındığını beyan ederim.

Araştırmanın planlanmasından raporlanmasına kadar olan süreçte, nesnellik, doğruluk ve bilimsel dürüstlük ilkeleri temel alınmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular olduğu gibi sunulmuş; sonuçlar üzerinde yanıltıcı veya aldatıcı herhangi bir uygulamaya başvurulmamıştır. Kullanılan tüm bilimsel kaynaklar titizlikle belirtilmiş, başkalarına ait fikri mülkiyet haklarına tam anlamıyla saygı gösterilmiştir. Gerekli görüldüğünde ilgili materyallerin kullanımı için izinler alınmış ve etik kurallara uygun hareket edilmiştir. Bu etik beyanı kabul eder, herhangi bir etik ihlal iddiası durumunda sorumluluğu üstleneceğimi taahhüt ederim.

Yazar Katkı Beyanı

Bu makalenin tüm aşamaları—araştırma fikrinin oluşturulmasından veri analizine, sonuçların yorumlanmasından yazımına kadar—tek yazar tarafından yürütülmüştür. Yazar, çalışmanın her aşamasında tam sorumluluk ve katkı sahibidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yürütülmesi, sonuçlarının değerlendirilmesi ve yayımlanması sürecinde yazarın herhangi bir kişi, kurum veya kuruluşla çıkar çatışması bulunmamaktadır. Araştırma bağımsız olarak ve yalnızca bilimsel amaçlarla gerçekleştirilmiştir; herhangi bir sponsorluk, finansal destek ya da dış müdahale söz konusu değildir.

KAYNAKÇA

- [1] Astur, R. S., Ortiz, M. L., & Sutherland, R. J. (1998). A characterization of performance by men and women in a virtual Morris water task: A large and reliable sex difference. *Behavioural Brain Research*, 93(1-2), 185-190. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(98\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(98)00019-9)
- [2] Baenninger, M., & Newcombe, N. (1989). The role of experience in spatial test performance: A meta-analysis. *Sex Roles*, 20(5-6), 327-344. <https://doi.org/10.1007/BF00287729>
- [3] Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- [4] Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 752-762. <https://doi.org/10.1038/nrn3122>
- [5] Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: Compensatory brain activity in high-performing older adults. *NeuroImage*, 17(3), 1394-1402. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1280>
- [6] Cahill, L. (2006). Why sex matters for neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(6), 477-484. <https://doi.org/10.1038/nrn1909>
- [7] Chance, S. S., Gaunet, F., Beall, A. C., & Loomis, J. M. (1998). Locomotion mode affects the updating of objects encountered during travel: The contribution of vestibular and proprioceptive inputs to path integration. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 7(2), 168-178. <https://doi.org/10.1162/105474698565659>
- [8] Clemenson, G. D., & Stark, C. E. L. (2015). Virtual environmental enrichment through video games improves hippocampal-associated memory. *The Journal of Neuroscience*, 35(49), 16116-16125. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2580-15.2015>
- [9] Coughlan, G., Laczó, J., Hort, J., Minihane, A. M., & Hornberger, M. (2018). Spatial navigation deficits—overlooked cognitive marker for preclinical Alzheimer disease? *Nature Reviews Neurology*, 14(8), 496-506. <https://doi.org/10.1038/s41582-018-0031-x>
- [10] Coutrot, A., Silva, R., Manley, E., de Cothi, W., Sami, S., Bohbot, V. D., ... & Spiers, H. J. (2022). Global determinants of navigation ability. *Current Biology*, 32(5), 1058-1065.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.01.045>
- [11] Cushman, L. A., Stein, K., & Duffy, C. J. (2008). Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71(12), 888-895. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000326262.67613.fe>
- [12] Cutmore, T. R. H., Hine, T. J., Maberly, K. J., Langford, N. M., & Hawgood, G. (2000). Cognitive and gender factors influencing navigation in a virtual environment. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53(2), 223-249. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0389>
- [13] Ekstrom, A. D., Spiers, H. J., Bohbot, V. D., & Rosenbaum, R. S. (2018). Human spatial navigation. Princeton University Press.
- [14] Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017-3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- [15] Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393-2400. <https://doi.org/10.1017/S003329171700040X>
- [16] Giedd, J. N., Castellanos, F. X., Rajapakse, J. C., Vaituzis, A. C., & Rapoport, J. L. (1996). Sexual dimorphism of the developing human brain. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 20(4), 571-590. [https://doi.org/10.1016/0278-5846\(96\)00033-5](https://doi.org/10.1016/0278-5846(96)00033-5)
- [17] Greenwood, P. M. (2007). Functional plasticity in cognitive aging: Review and hypothesis. *Neuropsychology*, 21(6), 657-673. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.6.657>
- [18] Grön, G., Wunderlich, A. P., Spitzer, M., Tomczak, R., & Riepe, M. W. (2000). Brain activation during human navigation: Gender-different neural networks as substrate of performance. *Nature Neuroscience*, 3(4), 404-408. <https://doi.org/10.1038/73980>
- [19] Hampson, E. (2018). Estrogen-related variations in human spatial and articulatory-motor skills. *Psychoneuroendocrinology*, 89, 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.12.014>

- [20] Jansen, P., Schmelter, A., Heil, M., & Quaiser-Pohl, C. (2010). Spatial memory performance in adults and children in a virtual radial arm maze: The role of age and sex. *Cognitive Processing*, 11(4), 423-432. <https://doi.org/10.1007/s10339-010-0372-1>
- [21] Kober, S. E., Kurzmann, J., & Neuper, C. (2013). Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: An EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 89(3), 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.06.007>
- [22] Lawton, C. A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, 30(11-12), 765-779. <https://doi.org/10.1007/BF01544230>
- [23] Lester, A. W., Moffat, S. D., & Wiener, J. M. (2017). The aging navigational system. *Neuron*, 95(5), 1019-1035. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.037>
- [24] Lippa, R. A., Collaer, M. L., & Peters, M. (2010). Sex differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations. *Archives of Sexual Behavior*, 39(4), 990-997. <https://doi.org/10.1007/s10508-008-9460-8>
- [25] McBurney, D. H., Gaulin, S. J. C., Devineni, T., & Adams, C. (1997). Superior spatial memory of women: Stronger evidence for the gathering hypothesis. *Evolution and Human Behavior*, 18(3), 165-174. [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(97\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(97)00005-9)
- [26] Moffat, S. D. (2009). Aging and spatial navigation: What do we know and where do we go? *Neuropsychology Review*, 19(4), 478-489. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9120-3>
- [27] Moffat, S. D., Zonderman, A. B., & Resnick, S. M. (2001). Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of Aging*, 22(5), 787-796. [https://doi.org/10.1016/S0197-4580\(01\)00251-2](https://doi.org/10.1016/S0197-4580(01)00251-2)
- [28] Montello, D. R., Waller, D., Hegarty, M., & Richardson, A. E. (2004). Spatial memory of real environments, virtual environments, and maps. In G. L. Allen (Ed.), *Human spatial memory: Remembering where* (pp. 251-285). Lawrence Erlbaum Associates.
- [29] Moè, A. (2009). Are males always better than females in mental rotation? Exploring a gender belief explanation. *Learning and Individual Differences*, 19(1), 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.02.002>
- [30] Moser, E. I., Kropff, E., & Moser, M. B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain's spatial representation system. *Annual Review of Neuroscience*, 31, 69-89. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.061307.090723>
- [31] Nazareth, A., Herrera, A., Pruden, S. M., & Newcombe, N. S. (2019). Explaining sex differences in mental rotation: Role of spatial activity experience. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 4(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s41235-019-0169-8>
- [32] Newcombe, N. S., & Huttenlocher, J. (2000). *Making space: The development of spatial representation and reasoning*. MIT Press.
- [33] Newman, M. C., Caplan, J. B., Kirschen, M. P., Korolev, I. O., Sekuler, R., & Kahana, M. J. (2007). Learning your way around town: How virtual taxicab drivers learn to use both layout and landmark information. *Cognition*, 104(2), 231-253. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.013>
- [34] O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford University Press.
- [35] Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: Aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>
- [36] Parsons, T. D., Gaggioli, A., & Riva, G. (2017). Virtual reality for research in social neuroscience. *Brain Sciences*, 7(4), 42. <https://doi.org/10.3390/brainsci7040042>
- [37] Plancher, G., Tirard, A., Gyselinck, V., Nicolas, S., & Piolino, P. (2012). Using virtual reality to characterize episodic memory profiles in amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: Influence of active and passive encoding. *Neuropsychologia*, 50(5), 592-602. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.12.013>
- [38] Postma, A., Winkel, J., Tuiten, A., & van Honk, J. (1999). Sex differences and menstrual cycle effects in human spatial memory. *Psychoneuroendocrinology*, 24(2), 175-192. [https://doi.org/10.1016/S0306-4530\(98\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0306-4530(98)00054-0)
- [39] Puts, D. A., McDaniel, M. A., Jordan, C. L., & Breedlove, S. M. (2010). Spatial ability and prenatal androgens: Meta-analyses of congenital adrenal hyperplasia and digit ratio (2D:4D) studies. *Archives of Sexual Behavior*, 39(1), 7-23. <https://doi.org/10.1007/s10508-009-9448-9>

- [40] Raz, N., Rodrigue, K. M., Head, D., Kennedy, K. M., & Acker, J. D. (2005). Differential aging of the medial temporal lobe: A study of a five-year change. *Neurology*, 65(3), 490-497. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000171453.67421.4a>
- [41] Richardson, A. E., Montello, D. R., & Hegarty, M. (1999). Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments. *Memory & Cognition*, 27(4), 741-750. <https://doi.org/10.3758/BF03211566>
- [42] Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(5), 754-760. <https://doi.org/10.1017/S1355617710000706>
- [43] Silverman, I., Choi, J., & Peters, M. (2007). The hunter-gatherer theory of sex differences in spatial abilities: Data from 40 countries. *Archives of Sexual Behavior*, 36(2), 261-268. <https://doi.org/10.1007/s10508-006-9168-6>
- [44] Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, 109(3), 431-433. <https://doi.org/10.1111/bjop.12305>
- [45] Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- [46] Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
- [47] Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
- [48] Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- [49] Vann, S. D., Aggleton, J. P., & Maguire, E. A. (2009). What does the retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience*, 10(11), 792-802. <https://doi.org/10.1038/nrn2733>
- [50] Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250-270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- [51] Waller, D., Hunt, E., & Knapp, D. (1998). The transfer of spatial knowledge in virtual environment training. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 7(2), 129-143. <https://doi.org/10.1162/105474698565631>
- [52] Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.001>