

# Çalışma Belleği Hakkında Kısa Bir Gözden Geçirme

## A Short Review About Working Memory

✉ Evrim Gökçe, ✉ Emel Güneş, ✉ Erhan Nalçacı

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

### Öz

Çalışma belleği sistemi, bir kerede akılda tutulabilen sınırlı bilgilerin korunmasından sorumludur. Farklı çalışma belleği için farklı devrelerin varlığı, çalışma belleğinin sınırı ve geliştirilebilirliği hakkında tartışmalar sürmektedir. Çalışma belleğini ele alan testler, bilişsel yeteneklerin değerlendirilmesinde güncel ve güvenilir bir kaynak olmayı sürdürmektedir. Bu derlemede, bilişsel fizyolojinin önemli bir kavramı olan çalışma belleğinin, güncel bilgiler ışığında ana hatlarıyla anlaşılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda çalışma belleğinin anatomisi, kapasitesi, bireysel farklılıkları ve geliştirilebilirliği ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çalışma Belleği, Kısa Süreli Bellek, Çalışma Belleği Kapasitesi

### Abstract

The working memory system is responsible for the protection of limited information that can be kept in mind at once. Discussions on the existence of different circuits for different working memory, the limit of working memory and its developability are ongoing. Cognitive tests addressing working memory remain a current and reliable source for assessing cognitive abilities. In this review, we aimed to understand the working memory, which is an important concept of cognitive physiology, in the light of current information. In this context, the anatomy, capacity, individual differences and developability of the working memory are discussed.

**Key Words:** Working Memory, Short-term Memory, Working Memory Capacity

### Giriş

Hızlı ve kolay biçimde erişim için zihinde saklanabilecek bilgi miktarı sınırlıdır. Kağıt ve kalem kullanmadan, matematiksel bir işlemi zihinden yaptığınızı düşünün. İki basamaklı sayılardan oluşan bir çarpma işlemi yaparken, bulduğunuz sonuçların bir kısmını aklınızda tutmanız gerekir. Ya da bir yol tarifi aldığınızı, tarifin çok sayıda sağ ve sol dönüş içerdiğini ve bunları yazacak bir kağıdınız olmadığını düşünün. Yönünüzü bulmaya çalışırken, hatırlamakta zorlandığınızı görürsünüz. Bu esnada bir telefon görüşmesi yaparsanız, neredeyse tüm yol tarifini unutmanız bile mümkündür.

Bilgiyi entellektüel ve sosyal olarak işleyebilmek için akılda tutmak gerekmektedir. Yukarıdaki örneklerde belirtilen sayıların ve yönlerin tutulduğu sınırlı bilişsel alanın, "çalışma belleği" olduğu belirtilmektedir. Daha rafine bir tanımla çalışma belleği, bilgiyi geçici olarak devam eden bilgi işlemede kullanım için yüksek erişilebilirlik durumunda tutan bilişsel alandır (1).

Bilimde teorik bir terim genellikle, özel olarak tasarlanmış bir protokolün belirli bir sonuç türünü tekrar tekrar ürettiği durumdaki varsayımsal mekanizmayı tanımlar. Çalışma belleği kavramsallaştırması için ise, karmaşa yaratan alternatif terimler mevcuttur ve bunlar arasında birincil bellek, kısa süreli bellek, prospektif bellek dikkat çekmektedir (2). Çalışma belleği

Yazışma Adresi/Address for Correspondence: Emel Güneş,  
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye  
Tel.: +90 533 761 27 71 E-posta: Emel.Gunes@ankara.edu.tr ORCID ID: orcid.org/0000-0003-3599-5151

Geliş Tarihi/Received: 12.03.2020 Kabul Tarihi/Accepted: 05.10.2020

©Telif Hakkı 2021 Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi  
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.  
Yayınlanan tüm içerik CC BY-NC-ND lisansı altındadır.



teriminin birden fazla şekilde kullanımının, alanyazınında bir sorun olmaktan çıkması için, bu ayrımlardan bazıları Cowan (3) tarafından özetlenmiştir (Tablo 1).

Çalışma belleği, kısa süreli bellekten keskin şekilde ayrı değildir. İlk olarak Miller ve ark. (4) tarafından, davranış planlamak ve yürütmek için kullanılan belleği tanımlamak, işlevsel bellek açısından geçici belleğe atıfta bulunmak için "çalışma belleği" terimi kullanılmıştır, bu nedenle Miller ve ark.'nın (4) bakış açısından, kısa süreli bellek ve çalışma belleği arasında net bir ayrım yoktur.

Baddeley ve Hitch (5) tek bir modülün her türlü geçici belleği açıklayamadığını gösterdikten sonra "çalışma belleği" terimi alanyazınında daha baskın hale gelmiş; sözel-fonolojik ve görsel-uzaysal temsilin ayrı ayrı depolandığı, dikkatle ilgili süreçlerin yardımıyla merkezi yürütücü tarafından yönetilen ve işlenen etkili bir modelin kabulünü getirmiştir. 1986'ya gelindiğinde, merkezi yürütücü modelden çıkarılmış, ancak Baddeley (6) tarafından epizodik tampon ile 2000 yılında tekrar eklenmiştir. Bu, tanımlanan depolarla eşleşmeyen özelliklerin kısa süreli hatırlanmasını açıklamak (özellikle bellekteki semantik bilgi, isimler ve yüzler arasındaki bağlantıların akılda tutulması gibi), çalışma belleğindeki alanlar arası ilişkileri anlamak için gerekli görülmüştür. Bu düzlemde bakıldığında, çalışma belleğinin, kısa süreli bellek ve kısa süreli belleğin kullanılmasını sağlayan işlem mekanizmalarından oluştuğu yorumu yapılabilir.

Çalışma belleği alanyazınında 3 temel modele işaret edilmektedir (Şekil 1).

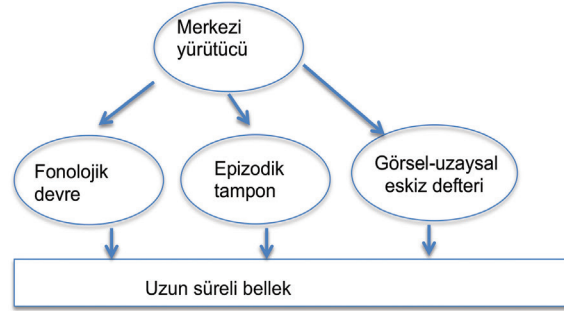
İlki, Atkinson ve Shiffrin'in (7) tek sistemli çalışan bellek kutusu modelidir (Şekil 1a). Bu modelde duyuşsal bilgi belleğe

girmekte, hem uzun süreli bellekten hem de duyuşsal girdiden bilgi alan kısa süreli depolama alanında tutulmakta ve uzun süreli bellekte süresiz kayıt edilmektedir.

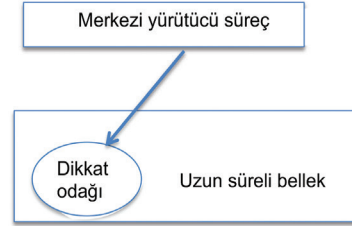
(a) Atkinson ve Shiffrin



(b) Baddeley



(c) Cowan



Şekil 1. Araştırmacıların çalışma belleği modellerinin özeti. (a) Atkinson ve Shiffrin, (b) Baddeley, (c) Cowan

**Tablo 1: Çalışma belleğinin bazı tanımları (Cowan) (3)**

Yaşam planlaması ÇB	Zihnin ekolojik olarak yararlı eylemleri gerçekleştirmek için gereken hedefler ve alt hedefler hakkında bilgi kaydeden bir kısım.
Bilgisayar ÇB	Bilgilerin geçici olarak kullanılması ve birçok çalışma belleğinin aynı anda tutulması olasılığı bulunan bir tutma yeri.
Çok bileşenli ÇB	Bilgiyi geçici olarak tutan ve devam eden zihinsel faaliyetlerde kullanılmasına aracılık eden çok bileşenli bir sistem.
Son olay ÇB	Davranış dizilerinin zamanla etkili kalmasını sağlamak için son eylemleri ve sonuçlarını takip etmede kullanılabilen kısım.
Depolama ve işleme ÇB	Depolama ve işleme faaliyetlerinin toplamı için sınırlı kapasiteye sahip geçici depolama ve buna göre işleme kısım.
Genel ÇB	Devam eden bilgi işlemede kullanım için, kullanılabilirliği artırılmış bir durumda geçici olarak sınırlı miktarda bilgi tutan kısım.
Uzun süreli ÇB	Uzun süreli belleğin oluşumunda ipucu ve veri kullanan, bir aktiviteye ilişkin bilgilerin bir gecikmeden sonra nispeten kolayca alınmasını sağlayan kısım.
Dikkat kontrol ÇB	Devam eden işleme için hedefler ve alt hedefler hakkındaki bilgileri korumak ve bu hedeflerden dikkat dağıtıcı unsurları engellemek için dikkatin kullanılması; görevle ilgili bilgileri dikkat gerektirmeyecek şekilde tutan kısa süreli depolama mekanizmalarıyla birlikte çalışır.
Kapsayıcı ÇB	Karmaşık bir yayılma görevini yerine getirmek için gerekli olan zihinsel mekanizmalar; her ikisi de performansın aracılığına dikkat gerektirdiği sürece, hem geçici depolama hem de uzun süreli belleği içerebilir.

ÇB: Çalışma belleği

İkinci model, Baddeley ve Hitch (5) tarafından önerilmiş ve uzun yıllar bu alana rehberlik etmiştir (Şekil 1b). Araştırmacılar, çalışma belleğinin, akıl yürütme ve anlama gibi süreçler için gereken bilginin tutulabileceği merkezi bir depolama kaynağına sahip olduğunu teorize etmişlerdir. Bununla birlikte, işleme sürecinde paylaşılmayan ve birbirinden ayrı olan farklı depolama türlerinin de (sözel-fonolojik ve görsel-uzaysal) olduğunu düşünmüşler, küçük sözel bellek yüklerinin akıl yürütme veya kavramaya etki etmediğini, çünkü bilginin akıl yürütme veya kavrama için kullanılandan ayrı bir fonolojik depoda bir dizi konuşma sesi olarak kaydedilebileceğini belirtmişlerdir. Model fonolojik bir döngü ve benzer şekilde çalışan bir görsel-uzaysal eskiz defteri içerecek şekilde iki devreli olarak tanımlandıktan daha sonra, "epizodik tampon" alanı da eklenmiştir (6). Bu modelde, merkezi yürütücünün dikkat gerektirdiği, depo alanlarının ise dikkate gereksinim duymadığı belirtilmiştir.

Cowan'a (8) ait olan üçüncü model ise (Şekil 1c), Baddeley'in (6) modelindeki iş bölümünü benimsememiş ve çalışma belleğindeki benzer öğeler arasında daha fazla etkileşim olduğunu kabul etmesine rağmen, tek önemli ayrımın sözel-fonolojik ve görsel-uzaysal bilgi işleme arasında olmasını muhtemel görmemiştir. Araştırmacıya göre uzun süreli belleğin geniş depolarından gelen bilgiler, geçici olarak aktif duruma geçmekte ve Baddeley'in aksine bilginin pasif olarak depolanmasından ziyade, dikkat odağında tutulmaktadır.

Atkinson ve Shiffrin (7) döneminden sonraki tüm çalışma belleği modelleri, az miktarda bilgiyi hızla erişilebilir düzeyde tutma yeteneğimizde yer alan birden fazla sistem veya süreç olduğuna işaret etmiştir.

## Çalışma Belleği Nerede Temsil Edilir?

İnsan, insan dışı primatlar ve kemirgenlerde yapılan çalışmalar, çalışma belleği devredeyken eş zamanlı nöronal ateşlenmeler kaydetmiştir. Maymunlardaki tek hücre kayıtları ve daha yakın zamanlarda insan nörogörüntüleme çalışmaları prefrontal kortekste bilginin tutulması için tarif edilen gecikme döneminde, sürekli nöral aktivite göstermiştir (9,10). Prefrontal korteksin non-invaziv elektriksel veya manyetik stimülasyonu da çalışma belleği performansını etkilemiştir (11). Çalışma belleğindeki bilgilerin korunmasında yer alan beyin bölgelerinin, korunacak bilgilerin türüne göre değişmesi beklenir. Bazı meta-analizler çalışma belleği görevinde prefrontal korteksin görev övgü katılım gösterdiğine işaret etmiş, sözel çalışma belleği görevlerine sol ventral prefrontal korteksin daha fazla dahil olduğu, uzaysal çalışma belleği görevlerinde ise sağ dorsal prefrontal korteksin katılımının izlendiği belirtilmiştir (12).

Prefrontal kortekste bu sonuçlara parietal korteks ve serebellum da dahil olmak üzere farklı beyin bölgelerinde benzer bulgular eşlik etmiştir.

Superior parietal korteks, çalışma belleğinin yürütücü yönleriyle ilişkilendirilmiştir (13). Ayrıca, parietal korteks aktivitesinin çalışma belleği kapasitesi ile ilişkili olduğu, aktivite seviyesinin hatırlanan bileşen sayısına paralel olarak arttığı belirtilmiştir (14).

Prefrontal kortekste olduğu gibi, parietal korteks de uzaysal çalışma belleği görevinde sağ hemisfere doğru bir miktar asimetri gösterir (12). Sözel çalışma belleği performansı ise, sol hemisfer lezyonunda büyük ölçüde etkilenmektedir (15).

Temporal korteks lezyonları, görsel çalışma belleğini etkilerken, uzaysal çalışma belleğini olduğu gibi bırakmış, parietal-lezyonlar ise bu tablonun tam aksini yaratmıştır (16,17). Temporo-parietal korteks, lateral temporal lob lezyonları, sözel çalışma belleği başarısını düşürmüştür (18).

Çok değişkenli desen analizlerini kullanan araştırmalar, görsel çalışma belleğinde tutulan içeriğin, görsel kortekste aktivite şablonlarından çözülebildiğini göstermiştir. Örneğin; kişiden yüzleri ya da evleri hatırlaması istendiğinde, ventral görsel korteksin kategoriye özgü bölgeleri aktive olmuştur (19).

Sternberg paradigmasını kullanan çalışmalardan elde edilen veriler ise, çalışma belleği süreçlerinde motor ve bilişsel ağlar arasındaki etkileşimi desteklemektedir (20). Motor-bilişsel bağıllık, motor sistemlerin nöral bölgeleri bilişsel taleplere tahsisinden kaynaklanıyor olabilir. Bu karşılıklı bağıllığın işlevselliği, tekrarlama süresini uzatmaya ve akılda tutulabilecek bilgi türünü genişletmeye yarayan aktif bir tekrar sürecini destekleyebilir.

Öte yandan motor sistemin çalışma belleğine katılımının, bireysel çalışma belleği kapasitesiyle ters orantılı olduğu öne sürülmüştür. Daha düşük çalışma belleği kapasitesine sahip kişiler, daha yüksek çalışma belleği kapasitesine sahip olanlara göre daha düşük bilişsel zorluk eşliğinde, motor ağlarını daha aktif kullanırlar (20).

Gelişimsel fizyoloji, gelişimin ilk aşamalarında, duyu-motor işlev ve biliş için gelişen nöral bölgenin büyük ölçüde örtüştüğüne işaret etmektedir (21). Çevre daha karmaşık bilişsel işlevler talep ettikçe ise, bilişsel ağlar mevcut duyu-motor alanlarının ötesine genişlemekte ve özelleşmektedir. Bu nöral ağ gelişim anlatısı, bilişsel ve motor sistemler arasındaki ilkel bağlantıların belli bir düzeyde korunmuş olabileceğini düşündürmektedir. Bilişsel performans katkıda bulunan motor ağlar evrimsel bir fayda sağlamış, sözlü bilgileri akılda tutma, fonemleri birleştirme ve sembolik materyale ekleme yeteneğini sağlayarak dil gelişimini desteklemiş olabilir. Motor ve bilişsel yapılar arasında bağlantı bulan işlevsel çalışmalar, bu anatomik bağlantıların doğrudan veya dolaylı olarak ortak sinyaller taşıdığını göstermektedir (22). Ayrıca, motor ve bilişsel sistemlerin evrim boyunca birlikte genişlediği kaydedilmiş, bu eşleşmiş büyümenin, geç çocukluk dönemindeki büyüme

sürecinde prefrontal korteks ve posterior-lateral serebellumda görüldüğü de belirtilmiştir (23). Sözel çalışma belleği görevi sırasında prefrontal korteksle birlikte aktive olan lateral serebellum da, bu birlikteliğe işaret etmektedir (24).

Bu sonuçlar, bilginin kısa süreli tutumu için geniş bir ağı devreye girdiğini, çalışma belleği görevinin icrasında, entegre bilişsel ve motor ağların varlığında, gelişmiş bir sinir sisteminin olduğunu göstermektedir.

### Çalışma Belleğinin Kapasitesi Neden Sınırlıdır?

Araştırmalar, çalışma belleği alanının oldukça sabit sayıda kavramsal öge içerdiği şeklinde yorumlanmıştır. Üstelik tahmini çalışma belleği sınırlarının sadece 3 ila 5 öge arasında değiştiği göz önüne alındığında, bireysel farklılıkların derecesinin başka görevlerde şaşırtıcı derecede belirgin etkisi olduğu görülmüştür (25). Araştırmacılar, çalışma belleğinde tutulabilen 1 fazla ögenin, bir sohbetle ya da problem çözme görevinde anlamlı etkisi olduğunu ifade etmektedir (26). Bu nedenle çalışma belleğindeki kapasitenin sınırı önemli görünmektedir.

Bir kapasite sınırının var olduğu açık olsa da, neden var olduğu sorusunun tek bir cevabı yoktur, işlevsel ve mekanik yanıtlar barındırmaktadır.

İşlevsel açıklamalar kapasite sınırını bir avantaj olarak ele alır. Bu bakışa göre çevredeki her şeyi mükemmel bir şekilde işleyemeyiz, bu yüzden ne işleneceğine dair bir karar verilmeli ve diğer bilgiler pahasına bazı bilgilere dikkat edilmelidir (26). Benzer şekilde, bir öge ile diğeri arasında veya bir öge ile içeriği arasında oluşturulabilecek bağlantıların sayısında bir sınır vardır. Evrimsel temelde ele alındığında, bireylerin yerine getirmesi gereken görevlere uygun çalışma belleği büyüklüğüne sahip olmanın bireyleri avantajlı kıldığı, daha küçük çalışma belleğinin kendini koruma için yeterli olmayacağı ve daha büyük çalışma belleğinin de biyolojik olarak maliyetli olacağı düşünülebilir.

Başka bir işlevsel argüman ise, sahip olduğumuz çalışma belleği boyutunun mevcut biyolojik enerji miktarı ile yapılabilecek en iyi değil ancak optimal olduğunu öne sürmüştür (27). Dirlam (27) ve MacGregor (28) insanların hafızada nasıl arama yaptıklarıyla ilgili bazı varsayımlara dayanarak matematiksel argümanlar geliştirmiştir. Arama işlemi, doğru grubu veya bilgi yığını bulmayı ve sonra grup içinde doğru ögeyi bulmayı içerir. Bu tür analizlerle, en verimli gruplamanın boyutunun, çalışma belleğindeki öge sayısı aralığında olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, çalışma belleğinde aynı anda bulunan öğelerin birlikte gruplandırılabilmesini varsayarsak, çalışma belleğimiz maksimum düzeyde verimli grupların oluşturulmasına ve daha sonra aranmasına izin verecek şekilde evrimleşmiş olabilir.

Mekanik açıklamalar, beyinde belirli bir sayıda ögenin aynı anda hatırlanmasına izin veren ve daha fazlasının hatırlanmasını önleyen yapıya işaret eder (29). Bir olasılık aynı özellikleri temsil eden nöronların eş zamanlı ateşlenmesiyle birlikte bellek öğelerinin gelişmesidir. Bazı çalışmalar 40 Hz civarında senkronize ateşlemenin bir nesneyi tanımladığını ve bu nöronal işlev paterninin dikkatle ilişkili olduğunu bulduğu için, bu olasılık değerli görünmektedir (30). Çalışma belleğindeki tüm öğeler için eş zamanlı ateşlemenin saniyenin onda biri kadar bir sürede tekrarlanması gerektiğini gösteren nöral kanıtlar gözden geçirildiğinde, bu süre içinde çok fazla öge temsil ediliyorsa, bir ögenin özelliklerinin başka bir ögenin özellikleriyle karıştırılabildiği görülmüştür. Örneğin kırmızı bir daire ve mavi karenin, kırmızı bir kare ve mavi daire olarak yanlış parçalara ayrılabilirdiği belirtilmiştir (31). Görüntüleme çalışmaları ise, parietal korteks bölgelerinin, herhangi bir zamanda akılda tutulabilecek öge sayısını yansıtan aktivasyon gösterdiğini bildirmiştir (32). Belki de eş zamanlı ateşleme, daha önceki bazı bulgularla tutarlı olarak bu alanlarla ilgili olarak gerçekleşmektedir. Bu teorileri doğrulamak için daha fazla araştırma yapılması gerekirken beraber, neden kısıtlı bir çalışma belleği olduğunu belirlemeye yönelik ilginç ipuçları verdiği görülmektedir.

Peki neden unuturuz? Unutmaya dair bir açıklama, öğelerin beyinde aktive edilmiş bellek izleri olarak temsil edildiğini ve zihinsel olarak tekrar edilmediğinde bu aktivasyonun zamanla azaldığını iddia etmektedir (27,33). Bir noktada, aktivasyon seviyesi çok düşük olur ve öğeler bilinçli hatırlama için artık geri çağrılmaz. Öğeler hafızaya girdikten sonra, yer değiştirme ve üzerine farklı özelliklerin kaydı gibi müdahaleler gelene dek kalırlar.

Unutmanın nedeni olarak hafıza izlerinin zamansal bozulmasını destekleyen en güçlü kanıt, daha kısa kelimelerin daha iyi hatırlanabileceği anlamına gelen kelime uzunluğu etkisidir (34). Bunun nedeni, tekrar edilmeyen bellek izlerinin yaklaşık 2 saniye içinde hatırlama eşiğinin dışına çıkacağı ve daha uzun sözcüklerin tekrar için kelime başına daha fazla zamana ihtiyacı olmasıdır.

Düzensiz bir zamanlamaya sahip listeler sunan ve bu zamanlamanın da hatırlanmasını gerektiren testlerde, başlangıçta uzun aralıklı listeler sunulmasının, listenin ilerleyen kısımlarındaki öğelerin geri çağrılmasını engellediği bulunmuştur (35). Teorik gerekçe, zamanlamayı hatırlamaya çalışırken, tekrar etmenin yapılamamış olmasıdır. Bununla birlikte, geri çağırma hızını doğrudan değiştiren başka çalışmalar, geri çağırılan miktar üzerinde çok fazla etki bulamamıştır (36).

Unutmayı zaman geçişiyle açıklayan modellerden biri, zamana dayalı kaynak paylaşımıdır (37). Bu model, birkaç kritik varsayımdan oluşur. İlk olarak, öğeler hızla bozulan ve unutulmuş aktif bellek izleridir. Bu öğeler, uzun süreli bellek için, dikkat

temelli bir yenileme mekanizmasıyla korunur. Dikkat aynı anda yalnızca bir görev gerçekleştirilebilir, bu da daha zor veya daha sık ikincil bir görev yapılması gerektiğinde bellek öğelerinin daha hızlı kaybına neden olabilir. Bu teze göre, dikkat dağıtıcının varlığında, bellekte tutabilmenin süresi kısaldır. Bu model lehine kanıtlar, katılımcıların kelimeler, rakamlar veya harfler gibi bir dizi öğeyi hatırlaması beklenen deneylerden gelmiştir (33). Her öğenin sunumundan sonra, sayıları ekrandan okumak veya basit bir matematik denklemini çözmek gibi bir görev sunulur. Bilişsel yük olarak ifade edilen ve işlem yapılmayan sürenin tüm süreye oranı, hatırlama doğruluğu ile negatif bir ilişkiye sahiptir.

Bununla birlikte, belleğin zayıflamasında karmaşa etkisi de kabul görmektedir. Ancak karmaşa etkisine işaret eden çalışmacılar, zaman etkisini dışlamaktadırlar. Oberauer ve Kliegl'e (38) göre, görev süresince geçen toplam zaman belleği zayıflatmamakta aksine hasarlı bellek izlerini onarmaktadır ve zayıflayan belleğin sebebi görev sırasında benzer temsillerin çakışmasıdır.

Özetle, tüm araştırmacılar bilginin zaman içinde kaybolduğunu açıkça kabul ederler, ancak bazı araştırmacılar bunu yalnızca işlenen ek veri ve geçen süreye bağlarken, bazıları zamanın etkisinden bağımsız yalnızca karmaşa etkisiyle açıklarlar.

### Çalışma Belleğindeki Bireysel Farklılıklar

Çalışma belleği kapasitesinde bireyler arasında önemli farklılıklar vardır. Bu farklılıklar zaman içinde oldukça kararlıdır ve bireyin temel bilişsel özelliği gibi görünmektedir (14). Katılımcılardan bir dizi cümleyi okuması ve her cümlenin son kelimesini hatırlamaları istenen bir çalışmada, üniversite öğrencileri 2 ya da 5 kelime hatırlayabilmiştir (26). Önceki araştırmaların tahminlerine göre bu şartıcı derecede düşük bellek yeteneği anlaşılabilir bir durumdur çünkü dikkat, öğelerin sunumu arasında işlemeyle meşgul olduğundan, birden fazla kelimenin bir yığın halinde gruplanmasını önler. Bu testin verileri, sözel skolastik yetenek testi gibi diğer birkaç okuma anlama testleri ile güçlü bir şekilde ilişkili bulunmuştur (39).

Daha sonraki araştırmalarda, hem depolama hem de işleme gerektiren çalışma belleği görevleri ile örneğin heceleme öğrenme, akıl yürütme, matematik ve dilsel yetenekler dahil olmak üzere çok çeşitli karmaşık biliş ölçümleri arasında güçlü bir ilişki ortaya çıkarmıştır. Bu etkiler, çalışma belleği görevi sözlü depolama ile birlikte uzaysal işlemi içerdiğinde de elde edilmiş, bu da bu görevlerde ve karmaşık bilişsel işlevlerde bir alan genel çalışma belleği kaynağının kullanıldığını düşündürmüştür (40).

Bir olasılık, daha yüksek çalışma belleği skoru gösteren bireylerin daha verimli yürütücü işlevlerine sahip olmalarıdır, böylece işleme görevi için daha az ve depolama için daha fazla alan kullanılır (41). İkinci bir teori ise, hem işleme hem de

depolama kapasitesindeki bireysel farklılıkların, çalışma belleği performansındaki genel farklılıklara katkıda bulunabileceğini öne sürmektedir (42). Ayrıca, mutlak depolama alanı miktarından ziyade, çalışma belleğinde depolananlar üzerinde dikkatin kontrolünün de, bireysel çalışma belleği farklarının kaynağı olduğu belirtilmiştir. Bu iddiaya göre düşük çalışma belleği kapasiteli bireyler, dikkat dağıtıcı bilgileri görmezden gelmek için yüksek kapasiteli bireylere göre daha fazla zorluk çekerler (41).

Yüksek çalışma belleği skoru gösteren kişilerin %20'sinin, zayıf skor gösteren kişilerin ise %65'inin dikotik dinleme görevi sırasında ihmal etmesi gereken kulaklıktaki sesi duyduğu gösterilmiştir (43). Bu fark büyük olasılıkla yüksek skor gösterenlerin ilgisiz bilgiyi engelleme ve seçici olarak tek bir işitsel kanala daha iyi odaklanma yeteneklerinden kaynaklanmaktadır ve bu tablo görsel görev içeren testlerde de gösterilmiştir (44).

Alternatif bir görüş ise, işleme verimliliğindeki farklara, depolama kapasitesindeki gerçek farklılıkların eşlik ettiğidir (45).

İşleme yeteneğinin gelişimsel süreçte artışının yanı sıra, çalışma belleğinin depolama bileşeninin de gelişim boyunca arttığı ileri sürülmüştür (46). Hem genel çalışma belleği kapasitesinde hem de merkezi yürütme süreçlerini kullanarak bu kapasiteyi yönetme yeteneğinde bireysel ve yaş grubu farklılıklarına dair kanıtlar bulunmaktadır. Çalışma belleğinin zayıflama ve karmaşa etkileri gibi diğer yönlerinde de bireysel ve grup farklılıkları olabilir (47).

### Çalışma Belleği Geliştirilebilir mi?

Alanyazında çalışma belleği, uzun süreli belleğe açılan bir portal olarak görülmektedir. Bilgilerin uzun süreli belleği daha sonra alınmasını sağlayacak bir forma girebilmesi için, öncelikle çalışma belleğinde uygun bir biçimde bulunması gerekir (48). Bazen bu form modaliteye özgü görünür. Örneğin 2 veya 3 harften oluşan sözel kısa süreli bellek aralığına sahip bir kişinin, yeni kelime öğrenmekte zorlandığı ancak diğer alanlarda tümüyle normal öğrenme becerisi sergilediği gösterilmiştir.

İyi bir çalışma belleğinin önemi, yeni bir şey öğrenildiğinde ortaya çıkar; mantıksal bağlantılar henüz oluşturulmadığından çalışma belleğinin yükü fazladır. Çalışma belleği alanına giren bilgiler arasında henüz ilişkisellik kurulmadığında, içerik mantıksal olarak tutarlı bir yapıda düzenlenene kadar çalışma belleği görevdedir (48). Burada çalışma belleği ile kullanılan kontrol süreçleri ve anımsatıcı stratejiler de öğrenme için kritik öneme sahiptir. Çalışma belleğinin, yeni sorunlara çözüm bulmayı içeren zeka türü olan "akışkan zeka" ile yakından ilişkili olduğu düşünülmektedir (49). Cowan ve ark. (50), iyi bir çalışma belleğinin akışkan zeka ile ilişkili olduğunu, böylelikle her ikisinin öğrenme sürecini desteklediğini öne sürmüştür.



Araştırmalar, kişilerin çalışma belleğinin tam kapasitesine erişiminin zaman aldığına işaret etmektedir (51). Yapısal ve işlevsel görüntüleme verilerinin analizleri, frontal ve parietal loblardaki kortikal aktivitenin mevcut çalışma belleği kapasitesini öngördüğünü, gelecekteki kapasitenin ise bazal ganglion ve talamustaki yapı ve aktiviteden çıkarılabileceğini ortaya koymuştur (52). Bir araştırma, 6-15 yaş arasında çalışma belleğinin geliştiğini, 15-22 yaş arasında ise gelişimin gerileme gösterdiğini belirtmiştir (53). Bir başka çalışmada, 4-14 yaş arasında çalışma belleğinde doğrusal bir büyüme, 14-15 yaş arasında ise gerileme görülmüştür (51).

Erişkinlerde ise çalışma belleğinin 20 ila 50 yaş arasında dengede kaldığı, 55-60 ve 75-80 yaşlarında belirgin şekilde doğrusal düşüş gösterdiğine işaret edilmiş (54), dopaminerjik sistemlerde görülen yaşa bağlı değişikliklerin, çalışma belleği kapasitesindeki belirgin düşüşü açıklayabileceği belirtilmiştir.

Çalışma belleğinin kişilerin temel bilişsel özelliklerinden biri olduğu belirtirse de, bazı antrenman tiplerinin çalışma belleği kapasitesini geliştirebileceği öne sürülmüştür (52).

Beş haftalık çalışma belleği eğitimi, hem genç hem de yaşlı yetişkinler için harf belleği performansını güçlendirmiş, bu etki bazal ganglionlardaki dopamin D2 bağlanma potansiyeli ve striatal aktivite değişiklikleri ile ilişkilendirilmiştir (55).

Fiziksel aktivitenin de, çalışma belleği üzerinde geliştirici etkileri olduğu belirtilmiş, özellikle bilginin depolanmasını desteklediği gösterilmiştir (55-57).

## Sonuç

Çalışma belleği nörofizyoloji ve nöropsikolojide en yaygın kullanılan terimlerden biridir. İnsanda tüm yaş gruplarında ve pek çok hayvan çalışmasında, entelektüel kapasite, bilgi işleme, yürütücü işlev, anlama, problem çözme ve öğrenme ile ilişkili olarak ele alınmıştır.

Bilişin çeşitli alanlarıyla yakın ilişkide olan çalışma belleği, öğrenme gücü, yaşlanmaya bağlı bilişsel gerileme ve tüm nörodejenerasyon süreçlerinde koruyucu ve geliştirici yaklaşımların geliştirilmesinde önemlidir ve daha kapsamlı olarak anlaşılmalıdır.

Çalışma belleğinin öğrenme becerisinin gelişiminde ve akademik başarıdaki potansiyel rolü, daha derinlikli olarak irdelenmeyi beklemektedir. Eğitim süreçlerinde, eğiticinin anlattığı içeriğe dair materyallerini öğrenenin çalışma belleği yeteneklerine göre planlaması mümkün kılınabilir. Dinleyicilerin ve okuyucuların çalışma belleğinin sınırlamalarını göz önünde bulundurmaları, eğiticinin ders anlatım biçimlerini geliştirmeye yardımcı olabilir. Bu, akademik başarıya giden yolda bilişsel gelişim ve bilişsel psikolojinin temel ilkelerini dikkate almak anlamına da gelecektir.

Çalışma belleği farkındalığı, kişilerin anlama yeteneklerine karşı daha hoşgörülü ve çözüm odaklı bir zemin kazandırabilir gibi görünmektedir.

## Etik

**Hakem Değerlendirmesi:** Editörler kurulunun dışından olan kişiler tarafından değerlendirilmiştir.

## Yazarlık Katkıları

**Konsept:** E.G., E.Gü., E.N., **Dizayn:** E.G., E.Gü., E.N., **Veri Toplama veya İşleme:** E.G., E.Gü., E.N., **Analiz veya Yorumlama:** E.G., E.Gü., E.N., **Literatür Arama:** E.G., E.Gü., E.N., **Yazan:** E.G.

**Finansal Destek:** Yazarlar tarafından finansal destek almadıkları bildirilmiştir.

## Kaynaklar

1. Cowan N. What are the differences between long-term, short-term, and working memory? Nelson. HHS Public Access. 2009;6123:323-338.
2. Einstein GO, McDaniel MA. Prospective Memory: Multiple Retrieval Processes. *Current Directions in Psychological Science*. 2005;14:286-290.
3. Cowan N. The many faces of working memory and short-term storage. *Psychon Bull Rev*. 2017;24:1158-1170.
4. Miller GA, Galanter E, Pribram KH. Plans and the structure of behavior. New York: Holt, Rinehart and Winston; 1960. 226 pp.
5. Baddeley AD, Hitch G. Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*. 1974;8:47-89.
6. Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*. 2000;4:417-423.
7. Atkinson RC, Shiffrin RM. Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*. 1968;2:89-105.
8. Cowan N. Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychol Bull*. 1988;104:163-191.
9. Rigotti M, Barak O, Warden MR, et al. The importance of mixed selectivity in complex cognitive tasks. *Nature*. 2013;497:585-590.
10. Postle BR. The cognitive neuroscience of visual short-term memory. *Curr Opin Behav Sci*. 2015;1:40-46.
11. Brunoni AR, Vanderhasselt MA. Working memory improvement with non-invasive brain stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex: a systematic review and meta-analysis. *Brain Cogn*. 2014;86:1-9.
12. Nee DE, Brown JW, Askren MK, et al. A meta-analysis of executive components of working memory. *Cereb Cortex*. 2013;23:264-282.
13. Koenigs M, Barbey AK, Postle BR, et al. Superior parietal cortex is critical for the manipulation of information in working memory. *J Neurosci*. 2009;29:14980-14986.
14. Vogel EK, Machizawa MG. Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*. 2004;428:748-751.
15. Vallar G, Baddeley AD. Fractionation of working memory: Neuropsychological evidence for a phonological short-term store. *J Verbal Learning Verbal Behav*. 1984;23:151-161.
16. Owen AM, Morris RG, Sahakian BJ, et al. Double dissociations of memory and executive functions in working memory tasks following frontal lobe excisions, temporal lobe excisions or amygdalo-hippocampotomy in man. *Brain*. 1996;119:1597-1615.
17. Pisella L, Berberovic N, Mattingley JB. Impaired working memory for location but not for colour or shape in visual neglect: a comparison of parietal and non-parietal lesions. *Cortex*. 2004;40:379-390.

18. Binder JR, Desai RH, Graves WW, et al. Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cereb Cortex*. 2009;19:2767-2796.
19. Ranganath C, Cohen MX, Dam C, et al. Inferior temporal, prefrontal, and hippocampal contributions to visual working memory maintenance and associative memory retrieval. *J Neurosci*. 2004;24:3917-3925.
20. Marvel CL, Morgan OP, Kronemer SI. How the motor system integrates with working memory. *Neurosci Biobehav Rev*. 2019;102:184-194.
21. Diamond A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Dev*. 2000;71:44-56.
22. Buckner RL, Krienen FM, Castellanos A, et al. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. 2011;106:2322-2345.
23. Bernard JA, Orr JM, Mittal VA. Differential motor and prefrontal cerebello-cortical network development: evidence from multimodal neuroimaging. *NeuroImage*. 2016;124:591-601.
24. Chen SH, Desmond JE. Temporal dynamics of cerebro-cerebellar network recruitment during a cognitive task. *Neuropsychologia*. 2005;43:1227-1237.
25. Colom R, Chuderski A, Santarnecchi E. Bridge over troubled water: Commenting on Kovacs and Conway's process overlap theory. *Psychological Inquiry*. 2016; 27:181-189.
26. Ricker TJ, AuBuchon AM, Cowan N. Working memory. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*. 2010;1:573-585.
27. Dirlam DK. Most efficient chunk sizes. *Cogn Psychol*. 1972;3:255-359.
28. MacGregor JN. Short-term memory capacity: Limitation or optimization? *Psychol Rev*. 1987;94:107-108.
29. Milner PM. A model for visual shape recognition. *Psychol Rev*. 1974;81:521-535.
30. Gray CM, König P, Engel AK, et al. Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*. 1989;338:334-337.
31. Lisman JE, Idiart MA. Storage of 7 +/- 2 short-term memories in oscillatory subcycles. *Science*. 1995;267:1512-1515.
32. Xu Y, Chun MM. Dissociable neural mechanisms supporting visual short-term memory for objects. *Nature*. 2006;440:91-95.
33. Barrouillet P, Bernardin S, Portrat S, et al. Time and cognitive load in working memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*. 2007;33:570-585.
34. Baddeley AD, Thompson N, Buchanan M. Word Length and the Structure of Short-Term Memory. *J Verbal Learn Verbal Behav*. 1975;14:575-589.
35. Cowan N, AuBuchon AM. Short-term memory loss over time without retroactive stimulus interference. *Psychon Bull Rev*. 2008;15:230-235.
36. Oberauer K, Lewandowsky S. Forgetting in immediate serial recall: decay, temporal distinctiveness, or interference? *Psychol Rev*. 2008;115:544-576.
37. Barrouillet P, Bernardin S, Camos V. Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *J Exp Psychol Gen*. 2004;133:83-100.
38. Oberauer K, Kliegl R. A formal model of capacity limits in working memory. *J Mem Lang*. 2006;55:601-626.
39. Daneman M, Carpenter PA. Individual differences in working memory and reading. *J Verbal Learn Verbal Behav*. 1980;19:450-466.
40. Kane MJ, Hambrick DZ, Tuholski SW, et al. The generality of working memory capacity: a latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *J Exp Psychol Gen*. 2004;133:189-217.
41. McCollough AW, Vogel EK. Your inner spam filter: What makes you so smart? Might be your lizard brain. *Scient Am Mind*. 2008;19:74-77.
42. Cowan N, Fristoe NM, Elliott EM, et al. Scope of attention, control of attention, and intelligence in children and adults. *Mem Cognit*. 2006;34:1754-1768.
43. Conway AR, Cowan N, Bunting MF. The cocktail party phenomenon revisited: the importance of working memory capacity. *Psychon Bull Rev*. 2001;8:331-335.
44. Vogel EK, McCollough AW, Machizawa MG. Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*. 2005;438:500-503.
45. Gold JM, Fuller RL, Robinson BM, et al. Intact attentional control of working memory encoding in schizophrenia. *J Abnorm Psychol*. 2006;115:658-673.
46. Cowan N, Nugent LD, Elliott EM, et al. The role of attention in the development of short-term memory: age differences in the verbal span of apprehension. *Child Dev*. 1999;70:1082-1097.
47. Cowan N, Elliott EM, Sauls JS, et al. Rethinking speed theories of cognitive development. Increasing the rate of recall without affecting accuracy. *Psychol Sci*. 2006;17:67-73.
48. Castles S. World population movements, diversity, and education. In *The Routledge International Companion to Multicultural Education*. 1st Edition. 2009.
49. Wilhelm O, Engle RW. *Handbook of understanding and measuring intelligence*. London: Sage; 2005.
50. Cowan N, Elliott EM, Scott Sauls J, et al. On the capacity of attention: its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cogn Psychol*. 2005;51:42-100.
51. Gathercole SE, Pickering SJ, Ambridge B, et al. The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Dev Psychol*. 2004;40:177-190.
52. Eriksson J, Vogel EK, Lansner A, et al. Neurocognitive Architecture of Working Memory. *Neuron*. 2015;88:33-46.
53. Ullman H, Almeida R, Klingberg T. Structural maturation and brain activity predict future working memory capacity during childhood development. *J Neurosci*. 2014;34:1592-1598.
54. Nyberg L, Andersson M, Kauppi K, et al. Age-related and genetic modulation of frontal cortex efficiency. *J Cogn Neurosci*. 2014;26:746-754.
55. Bäckman L, Nyberg L, Soveri A, et al. Effects of working-memory training on striatal dopamine release. *Science*. 2011;333:718.
56. Chang YK, Huang CJ, Chen KF, et al. Physical activity and working memory in healthy older adults: an ERP study. *Psychophysiology*. 2013;50:1174-1182.
57. Padilla C, Pérez L, Andrés P. Chronic exercise keeps working memory and inhibitory capacities fit. *Front Behav Neurosci*. 2014;8:49.