

**itüdergisi/d****mühendislik**

Cilt:5, Sayı:1, Kısım:1, 47-56

Şubat 2006

# Prefrontal korteks işlevlerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi

**Gülay BÜYÜKAKSOY KAPLAN\***, Neslihan S. ŞENGÖR, Cüneyt GÜZELİŞ*İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

*Bu çalışmada, değerlendirme testleri ile ölçülmeye çalışılan prefrontal korteks işlevlerini modellemek amacıyla işlemsel modeller önerilmiştir. Modelleme aracı olarak, yapay sinir ağları kullanılmıştır. Literatürde prefrontal korteksin amaca yönelik davranış geliştirmek için gerekli olan yüksek seviyeli bilişsel işlevlerden sorumlu olduğu önerilmektedir. Bu çalışmada esneklik, soyut düşünme ve amaca yönelik davranış geliştirme işlevlerini ölçmekte sıklıkla kullanılan Wisconsin Kart Eşleştirme Testi ve Stroop testi ele alınmıştır. Her iki test için önerilen modellerin sağlam ve prefrontal hasarlı deneklerin performanslarını üretebilme yetenekleri benzetimler ile sınanmıştır. Benzetim sonuçları modellerin klinik verilere uygun sonuçlar ürettiğini göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Prefrontal korteks, yapay sinir ağları, Wisconsin Kart Eşleştirme Testi, Stroop testi.*

## Modeling prefrontal cortex functions using artificial neural networks

### Abstract

*In this work, computational models for prefrontal cortex functions during the evaluation tests are proposed. Artificial neural networks are used as modeling tools. In the literature the prefrontal cortex is suggested to be responsible for high order cognitive abilities needed for goal-directed behavior. Wisconsin Card Sorting Test and Stroop test which are the representative ones for measuring mental flexibility, abstract thinking and goal directed behavior are considered in this work. The first step of modeling approach taken in this work is to propose the hypothetical tasks/subtasks which are supposed to be performed by the subject to complete considered tests successfully. At the same time these tasks must be defined in terms of the processes which are executed by the prefrontal circuits. After the test material and application of the test are simulated in a software environment which is developed using MATLAB®, the tests are applied to the model and the results are scored following the test evaluation rules like a real subject. The most important point of the modeling is to simulate the behavior of the PFC.*

**Keywords:** *Prefrontal cortex, artificial neural networks, Wisconsin Card Sorting Test, Stroop test.*

---

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Gülay BÜYÜKAKSOY KAPLAN. [gulay.kaplan@btae.mam.gov.tr](mailto:gulay.kaplan@btae.mam.gov.tr); Tel: (262) 6412300 dahili 4722. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Modeling prefrontal cortex functions using neural networks" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 05.07.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 05.01.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

İşlemsel modelleme, beyni bir hesaplama aracı olarak ele alarak onun çalışma prensipleri hakkında yeni fikirler üretilmesine olanak sağlar. Bu çalışmanın amacı, değerlendirme testleri ile ölçülen prefrontal korteks (PFC) fonksiyonları için işlemsel modeller önermektir. PFC, davranışların amaca yönelik olarak geliştirebilmesine olanak sağlayan yönetsel işlevlerden sorumlu olan beyin bölgesidir (Fuster,1997). Yönetsel işlevler insanların plan oluşturma, plana göre hareket etme, analogi kurma, kurallara uyma, problem çözme ve değişen koşullara adapte olabilmesini sağlar. İnsanlarda PFC hasarları tek tipte bir rahatsızlığa neden olmaz. Ancak dikkat, bellek, planlama, davranış seçimi ve uygun olmayan davranışların bastırılması gibi insanlara özgü birçok özelliği kapsayan yönetsel işlevlerde bozulmalara yol açar (Lezak, 1985). Bu nedenle literatürde PFC fonksiyonları ve yönetsel işlevler aynı anlamda kullanılırlar.

Bu makalede prefrontal korteksin zihinsel esneklik, soyut düşünme, amaca yönelik davranış geliştirme ve otomatik davranışın bastırılması işlevleri modelleme amacıyla ele alınmıştır. Klinik nörolojide bu işlevlerin değerlendirilmesinde kullanılan Wisconsin Kart Eşleştirme Testi (Wisconsin Card Sorting Test, WCST) ve Stroop testi, önerilen modeller için bir çerçeve olarak kullanılmıştır.

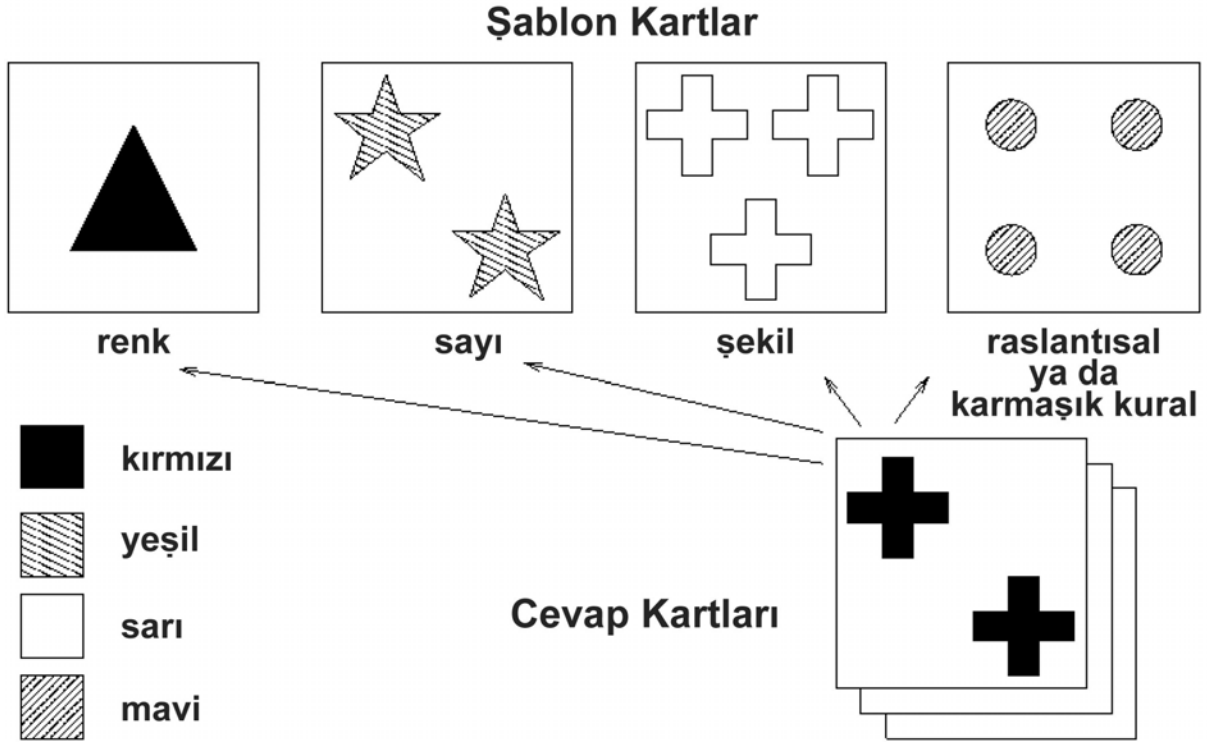
Bu çalışmada izlenen modelleme yaklaşımında, öncelikle testleri geçmek için gerekli olduğu düşünülen işler/alt-işler önerilmiştir. Bu işler önerilirken PFC’de gerçekleşen prosesler göz önüne alınmıştır. Modelleme yaklaşımında sağlıklı bireylerin ve aynı zamanda PFC hasarlı bireylerin davranışlarının aynı modelin farklı çalışma biçimleri ile simüle edilebilmesi amaçlanmıştır. Eğer modeller, testler sırasında PFC’de gerçekleşen prosesleri gerçekleştirebilirse, sağlam ya da hasarlı PFC’den kaynaklanan davranışların her ikisinin de simüle edilebilmesi mümkün olacaktır. Modelleme yaklaşımının ikinci adımı, önerilen iş/alt-işleri gerçekleştiren yapay sinir ağlarından oluşmuş yapıların önerilmesidir. Bu adımda, her iş/alt-iş bir yapay sinir ağı tarafından gerçekleştirilmekte ve bunların birbirine

bağlanmasıyla da her test için aktif olan prefrontal korteks devreleri elde edilmektedir. Her iki test için de, testlerde kullanılan materyal ve testin uygulanışını gerçekleyen yazılım ortamları MATLAB® dilinde yazılmıştır. Bu ortamlar aracılığıyla çok sayıda benzetim yapılarak modellerin başarısı sınanmıştır.

## Wisconsin Kart Eşleştirme Testi

Wisconsin Kart Eşleştirme Testi, kavram oluşturma, zihinsel esneklik ve davranışların çevreden gelen uyarılara göre düzenlenmesi yeteneklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Weintraub, 2000). Testte üzerinde farklı renkte (kırmızı, sarı, yeşil,mavi), farklı sayıda (1, 2, 3, 4) ve farklı geometrik şekiller (üçgen, yıldız, artı, daire) bulunan 64 kartlık 2 deste kart kullanılmaktadır. Bu kartlardan her üç özelliği de birbirinden farklı olan ve Şekil 1’de gösterilen 4 kart, şablon (referans) kartı olarak test süresi boyunca deneğe gösterilmektedir. Denekten kendisine teker teker gösterilen diğer kartların (cevap kartları), şablon kartlarından biriyle eşleştirmesi istenir. Deneğin her seçiminin ardından test yürütücüsü seçimin doğruluğunu bir açıklama yapmaksızın yalnızca “doğru” ya da “yanlış” kelimelerini kullanarak deneğe bildirir. Deneğin amacı mümkün olduğunca fazla sayıda doğru eşleştirme yapmaktır (Heaton vd., 1993).

Deneğin doğru eşleştirme yapabilmesi için eşleştirmede kullanılan kriteri, kendisine daha önceki seçimleri için verilen cevapları göz önünde bulundurarak ortaya çıkarması gereklidir. Şekil 1’de bir örnek olarak üzerinde 2 kırmızı artı bulunan cevap kartı, eşleştirme kuralı olarak rengin kullanılması durumunda 1. referans kartı ile sayı kullanılması durumunda 2. referans kartı ile şekil durumunda ise 3. referans kartı ile eşleşmektedir. Deneğin eşleştirmenin rastlantısal olarak yapıldığını ya da karmaşık bir kuralın eşleştirmede kullanıldığını düşünmesi durumlarında ise cevap kartını 4. referans kartı ile eşleştirmesi söz konusu olabilmektedir. Yapılan doğru eşleştirmeler belli bir sayıya ulaşıncaya, eşleştirme kriteri deneyin yürütücüsü tarafından deneğe haber verilmeden değiştirilir. Bu durumda deneğin önceki seçimlerde kullandığı



Şekil 1. WCSTde kullanılan kartlar (Dehaene vd., 1991)

kriter hatalı eşleştirmeye neden olur ve denek artık “yanlış” cevapları alır. Bu durumda denekten farklı kriterleri denemesi beklenir. Sağlıklı denekler birkaç denemeden sonra doğru kriteri yakalamayı başarır. Ancak, PFC hasarlı denekler, “yanlış” cevaplarına rağmen kendi kriterlerinde ısrar ederler (Lezak, 1983). PFC hasarlı deneklerde soyut düşünme, zihinsel esneklik ve dışarıdan gelen uyarılara göre davranışlarını düzenleme konusunda problemlere neden olduğu için, bu tür deneklerde perseverasyon olarak adlandırılan ısrarcı davranışlar gözlenmektedir. Perseverasyon WCST ile ölçülmeye çalışılan en belirgin davranış bozukluğudur. Bazı hastalar ise seçimleri doğru olduğu halde zihinsel dağınıklıkları nedeniyle yakaladıkları kriteri koruyamaz ve doğru cevaplara rağmen kriterlerini değiştirirler. Bu tipteki davranışlar, kurulumu sürdürmede başarısızlık (Failure to Maintain Set, FMS) puanı ile ölçülmektedir. Bu çalışmada önerilen model ile hem sağlıklı deneklerin WCST sırasındaki davranışları hem de yukarıda belirtilen türde hatalar yapan prefrontal hasarlı denek davranışlarının elde edildiği benzetimler yoluyla gösterilmiştir.

### Stroop Testi

Prefrontal korteksin en önemli özelliklerinden birisi amaca yönelik davranış geliştirme özelliğidir (Fuster, 1997). Bu özelliğin sağlanabilmesi için, davranış boyunca amacın bozucu etkenlere karşı korunabilmesi gerekmektedir. Bu bozucu etkenler dışarıdan kaynaklanabileceği gibi, otomatik olarak yapılan ancak o anki davranışa uygun olmayan eğilimlerden de kaynaklanabilir. Böyle durumlarda, PFC otomatik davranışları aktif hale getiren etkileri bastırma durumunda kalır. Stroop testi bu gibi durumlarda PFC'nin gerçekleştirdiği bastırma (inhibition) yeteneğini ölçmeyi amaçlamaktadır (Weintraub, 2000).

Stroop testinde üzerinde bir takım renk isimlerinin yazılı olduğu ve renkli kutucukların bulunduğu kartlar kullanılır. Testte denek test performansını etkileyeceği düşünülen okuma ve renk söyleme hızlarının ölçüldüğü üç karttan farklı olarak, renk kelimelerinin anlamlarından farklı renkteki mürekkepler ile yazıldığı bir kart da kullanılmaktadır. Bu kart PFC'nin bastırma yeteneğinin ölçüldüğü karttır. Denekten önce bu kartta bulunan renk kelimelerini (24 kelime) okuması istenir ve bu aşama için geçen süre

kaydedilir. İkinci aşamada kelimelerin renklerini söylemesi istenir ve aynı şekilde yine süre kaydedilir. Testin bu bölümünde alışlagelmiş kelime okuma işlevinin, alışıksız olmadığımız ancak istenen renk söyleme işlevi lehine bastırılması gerekmektedir. Bu bastırma işlemi yüzünden sağlıklı denekler de testin renk söyleme kısmını kelime okuma kısmından daha uzun sürede tamamlamaktadır. Ancak bu farklılık prefrontal hasarlı deneklerde daha da artmaktadır. Bazı prefrontal hasarlı denekler bastırma işini ilk seferde başaramayıp önce sözcüğü okumakta, daha sonra ise hata yaptığını fark ederek sözcüğün rengini söylemektedir. Prefrontal hasarlı deneklerde rastlanılan bir başka davranış biçimi ise hatalarını fark etmeyerek hızlıca testi tamamlamalarıdır. Bu çalışmada tüm bu farklı davranış biçimlerini üretebilen bir model önerilmiştir.

### İşlemsel modeller

WCST için önerilen modelde, deneğin davranışlarını iki aşamada gerçekleştirdiği öne sürülmüştür. Denek, önce eşleştirmede kullanacağı kriteri belirler daha sonra da bu kritere göre cevap kartıyla uyuşan referans kartını seçer. Bu iki aşama, Şekil 2’de gösterildiği gibi “seçim” ve “kural belirleme” birimleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Kural belirleme işlemi, deneğin bir önceki seçimine test yürütücüsünün verdiği cevaba göre belirlenir. Eğer test yürütücüsü bir önceki seçim için "doğru" cevabını vermişse seçim kriteri korunmalı, aksi taktirde değiştirilmelidir. Modelde mevcut kuralın korunması Hopfield ağı (Hopfield, 1982) ile gerçekleştirilirken yeni kuralın önerilmesi Hamming ağı (Zurada, 1992) tarafından Hopfield ağına yeni başlangıç koşulları sağlamak yoluyla gerçekleştirilmektedir.

Belirlenen kurala göre ilgili şablon kartın seçilmesi, bir çeşit Kazanan-Hepsini-Alır (Winner-Take-All) ağı (Mehrotra vd., 1997) olan seçim birimi tarafından gerçekleştirilir. Bu ağda, her bir yapay sinir hücresi bir şablon karta karşı düşürülmüştür ve çıkışı aktif olan sinir hücresi, deneğin seçtiği şablon kart olarak alınır. Bu yüzden önerilen ağda dört sinir hücresi kullanılmıştır. Sinir hücrelerinin girişlerine eşleşti-

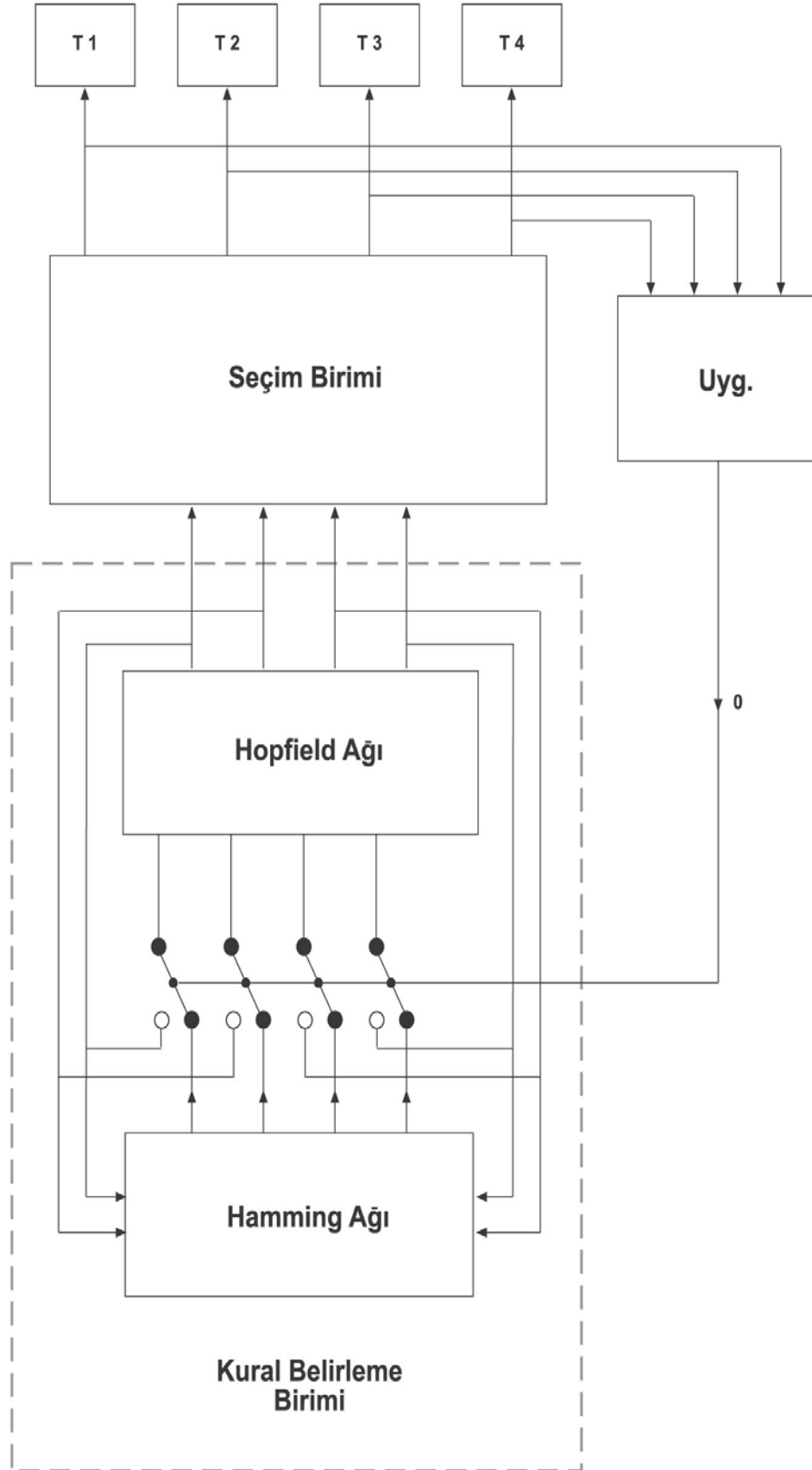
rilmesi istenen cevap kartı ve “kural belirleme” birimi tarafından belirlenmiş seçim kriteri giriş bilgisi olarak gelir. Her nöron temsil ettiği şablon kart ile cevap kartı arasındaki benzerliği, seçim kriteri kullanılarak ağırlaştırılmış uzaklık tanımına göre hesaplar. Son olarak, cevap kartına uzaklığı en küçük olan sinir hücresi deneğin seçimi olarak belirlenmiş olur.

Önerilen modelde, Hopfield ağı “çalışma belleği” (working memory) olarak kullanılmış ve Hopfield ağına kullanılan eşik vektörü değiştirilerek gerçekleştirilen benzetimlerde, hastalarda görülen zihinsel dağınıklığın model tarafından da üretilebildiği görülmüştür. Zihinsel dağınıklığın ölçüsü hasta için elde edilen sonuçlarda arttığı gözlenen FMS sayısıdır. Diğer yandan Hamming ağına kullanılan Hamming uzaklığının farklı değerleri, perseverasyonun artması şeklinde gözlenmiştir.

Modelin gerçekçiliğini sınamak amacıyla çok sayıda benzetim gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları, modelin denek davranışları olarak esnekten çok “katı” (rigid) davranışlı hastalara kadar oldukça geniş bir değer aralığında sonuçlar üretebildiğini göstermektedir.

Stroop Testi’ne yönelik olarak önerilen modelde, testi başarmak için gerekli olan prefrontal korteks işlevleri modellenmiştir. Bu amaçla dikkatin yönlendirilmesi, otomatik cevabın bastırılması, geliştirilen davranışın istenilen davranışa uygunluğunun kontrolü ve uygunsuzluğun söz konusu olduğu durumlarda düzeltici işlemlerin başlatılması işlevlerini yerine getiren bir model önerilmiştir. Modelde yer alan birimler ve bağlantıları Şekil 3’te gösterilmiştir.

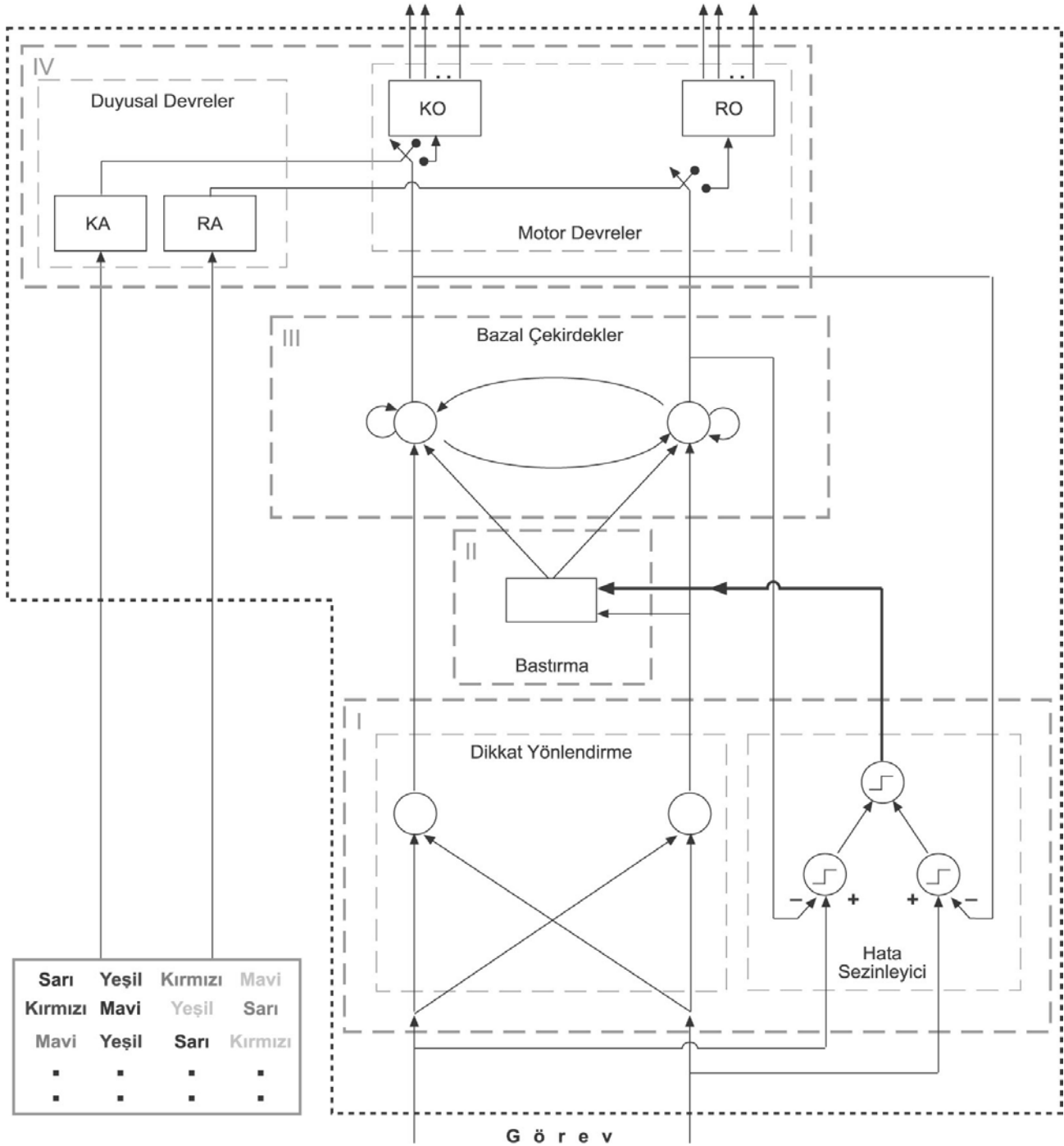
Modelde dikkatin alışılmadık uyarana yönlendirilmesini sağlamak amacıyla dikkat-yönlendirme birimi önerilmiştir. Bu birim renk söyleme görevinde kelime uyarana cevap verilmesi şeklinde olan otomatik cevabın bastırılması için bastırma (inhibition) biriminin aktif hale gelmesini sağlar. Bastırma biriminin işlevini modellemek için Hopfield ağı kullanılmıştır. Hopfield ağının görevi, otomatik olarak aktive olan kelime okuma eğilimini bastırmak amacıyla,



Şekil 2. WCST için önerilen model

yeterince büyük bir işaret üretmektir. Alışılmış davranışların yürütülmesinden sorumlu olan bazal çekirdekler (basal ganglia) (Brown vd., 1997) işlevleri MAX-NET (Bose vd., 1996) ağı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Duyusal ve motor devrelerin (sensory, motor networks) gerçekleştirdiği algılama ve kelime okuma/rek söyleme işlemleri için de ayrı ayrı Hopfield ağları kullanılmıştır. Hata-sezinleyici üç algılayıcıdan (perceptron) oluşturulmuştur. Test sıra-

sında denek istenmeyen bir davranışta bulunduğu hata-sezinleyici devreye girer ve bastırma birimini uyarır. Modelde hatasezinleyici rastlantısal olarak aktif olur. Bu amaçla hata işaretinin üretilme olasılığına karşı düşen bir parametre kullanılmıştır. Rastlantısal olarak belirlenen bu değer daha önceden belirlenmiş değerden yüksekse, hata sinyali üretilir ve bastırma birimi yeniden devreye girer.



Şekil 3. Stroop Testi için önerilen model

Stroop Testi için gerçekleştirilen benzetimlerde, bastırma biriminin kelime okumayı bastırma üzerine olan etkisi, bu birimin, aktivasyonunun azaldığı durumlarda yapılan yanlış sayısının artmasından, benzer şekilde yüksek aktivitede yanlış sayısının azalmasından gözlenmektedir. Benzetimlerde ele alınan bir diğer etken ise hata işaretinin sonuçlar üzerindeki etkisidir. Hata işaretinin üretilme olasılığının düşük olduğu durumlarda, test süresi kısa, yüksek olduğu durumlarda ise sürenin uzun olduğu benzetim sonuçlarından görülmektedir. Yapılan çok sayıda benzetim, modelin sağlam ve çeşitli prefrontal hasarlı denek davranışlarını geniş bir aralıkta üretebilme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir.

### **Simülasyon sonuçları**

Her iki test için önerilen modellerin başarısını ölçmek amacıyla çok sayıda benzetim yapılmıştır.

WCST'de testin uygulayıcısı deneğin ardışıl olarak verdiği 10 doğru cevaptan sonra seçim kuralını değiştirir. Ardışıl olarak verilen 10 doğru cevap tamamlanmış bir kategori olarak tanımlanmakta ve bir test ölçütü olarak değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır. Test boyunca test yürütücüsü seçim kuralını renk, şekil, sayı, renk, şekil, sayı olarak değiştirmektedir.

WCST için önerilen modelin farklı ve geniş bir yelpaze içersinde dağılım gösteren esnek ve prefrontal hasarlı denek davranışlarını simüle edebilmesi için 18 ayrı koşul tanımlanmıştır. Bu koşullar 3 ayrı Hopfield ağı eşik vektörü ve 6 farklı Hamming uzaklığının kombinasyonları ile elde edilmiştir. Her koşul için 10 farklı simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılan parametre değerleri ve bu değerlere ilişkin model sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Her koşul için elde edilen sonuçların gerçek hayattaki deneklerin rahatsızlıkları cinsinden yorumları son sütunda belirtilmiştir. Tablo 1'de "Zih. Dağ.", zihinsel dağınıklık, "Isr./ Dağ." ise zihinsel dağınıklığı yüzünden ısrarcılığını zaman zaman sürdüremeyen denek davranışlarını tanımlamak için kullanılmıştır.

Stroop Testi için önerilen model kullanılarak farklı parametre değerleri için modelin ürettiği sonuçlardaki değişimin tutarlılığı incelenmiştir. Simülasyonların amacı, modelde yer alan alt birimlerin aktivitesinin sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemektir. Bu amaçla bastırma biriminin aktivitesine ve hata işaretinin üretilmesine ilişkin farklı koşullar ve her koşul için de 20 simülasyon yapılmıştır.

Stroop Testi'nde testin tamamlanma süresi PFC hasarının bir ölçüsü olduğundan test süresinin gerçekçi olarak simüle edilmesi amaçlanmıştır. Ancak, bilgisayarların işlem hızları insan beyininde yer alan nöronların çıkış üretme hızına göre oldukça fazladır. Modelin ürettiği test süreleri ile klinik veriler arasında anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek için, modelde yer alan altbirimlerin her birinde gecikme uygulanmıştır. Bu gecikme işlemi sonuçları etkilemeyecek şekilde belli bir süre geçirilmesini sağlayan saydırma işlemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kelime okuma için geçen süre  $11.4 \pm 0.6$  sn olarak elde edilmiştir. Klinik veriler ile uyuşan bu değer elde edilmesini sağlayan bastırma birimi baz değeri ve hata işareti üretme olasılığı değerleri, PFC hasarlı denek verilerinin elde edilebilmesi için sistematik olarak değiştirilmiştir. Bastırma biriminin aktivitesini etkileyen baz değeri modelde yer alan Hopfield ağına ilk koşulları ile belirlenmektedir. Simülasyonlarda bu ilk koşullar 0.4 ile 0.05 değerleri arasında, hata işaretinin üretilme olasılığı ise 0.1 den 0.9'a kadar 0.1 aralıklarla denenmiştir. Sonuçlar aşamalı olarak tutarlılık gösterdiği için hata işareti üretilme olasılığının iki sınır değeri için elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu iki değer Tablo 2'de "Ol." sütununda gösterilmiştir. Tablo 2'den de görüleceği gibi bastırma biriminin yüksek baz seviyesi, kelime okuma işleminin bastırılmasını sağlamaktadır. Bu durumlarda model testi az sürede tamamlayan ve hemen hemen hiç hata yapmayan denek sonuçlarını üretmektedir. Ancak, baz seviyesi düştükçe, bastırma işleminin başarısı da düşmektedir. Bu gibi durumlarda ise test süresi artmaktadır. Yapılan hata ve buna paralel olarak yapılan düzeltmelerin sayısını ise hata işareti üretme olasılığı parametresi etkilemektedir. Bu parametrenin

Tablo 1. WCST için önerilen modele ilişkin simülasyon sonuçları

No	Hamm. Uzaklık	Hop. Eşik V.	# Doğru Cevap	#Kategori	Pers.hata %	FMS	Yorum
1	3	T	64.6 ± 3.5	6.0 ± 0	9.9 ± 2.8	0 ± 0	Esnek
13	3-2	T	64 ± 1.8	6.0 ± 0	9.5 ± 2.1	0 ± 0	Esnek
4	2	T	67.6 ± 3.7	6.0 ± 0	14.2 ± 4.6	0 ± 0	Az Esnek
16	2-1	T	70.7 ± 5.5	6.0 ± 0	17.9 ± 3.7	0 ± 0	Az Esnek
2	3	T <sub>1</sub>	73.7 ± 6.1	1.1 ± 0.5	19.7 ± 2.9	3.2 ± 1.6	Zih. Dağ.
14	3-2	T <sub>1</sub>	75.9 ± 6.1	1.6 ± 1.0	17.7 ± 3.4	2.7 ± 1.3	Zih. Dağ.
5	2	T <sub>1</sub>	66.3 ± 9.1	0.4 ± 0.5	24.6 ± 4.9	2.6 ± 2.1	Isr./ Dağ.
17	2-1	T <sub>1</sub>	73.2 ± 6.3	1.3 ± 0.5	21.2 ± 5.0	2.4 ± 1.2	Isr./ Dağ.
3	3	T <sub>2</sub>	66.2 ± 8.4	0.3 ± 0.5	26.5 ± 6.4	2.4 ± 1.8	Isr./ Dağ.
15	3-2	T <sub>2</sub>	72.6 ± 7.9	0.8 ± 0.8	25.9 ± 6.2	3.1 ± 1.7	Isr./ Dağ.
6	2	T <sub>2</sub>	66.7 ± 9.9	0.5 ± 0.7	27.9 ± 8.6	2.0 ± 1.5	Isr./ Dağ.
18	2-1	T <sub>2</sub>	59.8 ± 6.3	0.1 ± 0.3	29.1 ± 6.9	2.0 ± 0.9	Isr./ Dağ.
8	1	T <sub>1</sub>	58.8 ± 6.9	1.1 ± 0.4	32.4 ± 6.2	1.1 ± 0.6	Katı
11	0	T <sub>1</sub>	31.5 ± 4.7	0 ± 0	38.6 ± 4.8	0 ± 0	Katı
9	1	T <sub>2</sub>	61.9 ± 8.3	0 ± 0	27.7 ± 6.8	2.4 ± 1.2	Katı
12	0	T <sub>2</sub>	30.4 ± 4.1	0 ± 0	39.4 ± 3.5	0 ± 0	Katı
7	1	T	39.4 ± 0.5	1.0 ± 0	67.8 ± 0.5	0 ± 0	Çok Katı
10	0	T	32.8 ± 2.5	0.1 ± 0.3	73.0 ± 1.5	0 ± 0	Çok Katı

yüksek değer alması, hata-sezinleyicinin hata işareti üretmekle bastırma birimin yeniden aktif hale getirilmesini sağlar. Aynı baz seviyesi için farklı olasılık parametreleri, düzeltmenin artması ve bunun sonucu olarak da test süresinin artması ile sonuçlanmaktadır.

## Sonuçlar

Bu çalışmada iki farklı nöropsikolojik test ele alınmış ve bu testlerin başarıyla geçilmesi için gerekli varsayımsal iş/alt-işler önerilmiştir. Literatürde önerilen bazı iş/alt-işler için sorumlu tutulan beyin bölgeleri bulunmaktadır. Ancak bazıları için böyle bir eşleştirme söz konusu değildir. Test sırasında gerçekleştirildiği düşünülen davranışları modellemek amacıyla bütünleşik işlemsel modeller önerilmiştir. Bu modeller yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulmuştur. MATLAB<sup>®</sup> kullanılarak, testlerde kullanılan materyal ve testin uygulanış biçimini içeren benzetim ortamı geliştirilmiştir. Modellerin başarısını test etmek amacıyla çok sayıda benzetim gerçekleştirilmiş ve elde edilen sağlıklı ve

prefrontal hasarlı denek davranışları klinik denek verileri ile karşılaştırılmıştır.

Literatürde WCST ile ilgili çeşitli modelleme çalışmaları mevcuttur. Yazarların önceki çalışması (Kaplan vd., 2001) ve Leven ve Levine'nin (Leven vd., 1987) çalışmalarında bir esnek ve bir PFC hasarlı denek sonuçları üretilmiş olduğundan, modellerin yetenekleri oldukça sınırlıdır. Her iki çalışmada da değişik davranış bozuklukları yerine yalnızca perseverasyon ele alınmıştır. Modellerin yapısı gereği yalnızca perseverasyon için bile olsa, farklı seviyelerde perseveratif davranışların elde edilmesi mümkün değildir. Bir diğer çalışmada Dehaene ve Changeux (Dehaene vd., 1991) WCST'nin fonksiyonel analizini yapmak üzere bir model geliştirmişlerdir. Diğer iki çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da yalnızca perseverasyon ele alınmıştır. Monchi ve Taylor (Monchi vd., 2000) frontal lobdaki bağlantılardan yola çıkarak bir model önermişlerdir. Biyolojik yapı göz önünde bulundurularak önerilen bu modelde çeşitli parametrelerin değerinin değiştirilmesi ile



farklı davranış biçimleri elde etmek mümkün olmuştur. Ancak bu değişikliklerin test ölçütleri üzerindeki etkileri incelenmemiştir. Amos'un geliştirmiş olduğu modelde ise şizofreni, Parkinson ve Huntington hastalarının WCST performansları ele alınmıştır (Amos, 2000). Farklı parametre değerleri ile bu tür hasta davranışları incelenmiştir.

Tablo 2. Stroop Testi için önerilen modele ilişkin simülasyon sonuçları

Baz	Ol.	Süre (sn)	#Hata	#Düzeltilme
0.4	0.1	28.4±3.2	0.4±0.6	0.08±0.3
0.4	0.9	28.9±2.4	0.3±0.5	0.08±0.3
0.3	0.1	31.7±1.8	2±0.7	0.08±0.3
0.3	0.9	33.6±4	2.8±1.5	0.9±0.9
0.2	0.1	36.6±2.2	5.6±1.9	0.3±0.5
0.2	0.9	39.7±2	5±1.3	1.75±1.2
0.1	0.1	39.5±3.2	9.6±2.3	0.4±0.6
0.1	0.9	47±2.8	9.2±2.7	3.3±1.7
0.05	0.1	40.4±2.8	11.3±2.2	0.3±0.7
0.05	0.9	48.3±2.5	11.4±1.8	3±1.5

Bu çalışmada WCST sırasındaki farklı denek davranışlarını elde etmeye yönelik olarak önerilmiş modelin, yukarıda bahsedilen modeller ile karşılaştırıldığında çok sayıda ve aynı zamanda tutarlı sonuçlar üretmesi açısından üstün olduğu görülmektedir.

Stroop Testi, 1935 yılından bu yana üzerinde yapılan çalışmaların anlatıldığı makalelerin sayısının 700'ü bulduğu bir testtir (MacLeod, 1991). Ancak test sırasında deneklerin davranışlarının modellendiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Cohen ve grubunun önerdiği model ve Phaf'ın önerdiği modeller de yalnızca renk söyleme işinde test süresinin uzaması ele alınmıştır. Her iki modelde de test süresindeki artış gecikme mekanizmaları ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada önerilen model literatürdeki modellerden farklı olarak Stroop Testi sırasında aktif olan frontal bölgelerde gerçekleştirilen prosesler üze-

rine dayandırılmıştır. Bu yüzden de çeşitli denek davranışlarının her yönden elde edilmesi bakımından diğer modellerden üstün özelliklere sahiptir. Yapılan çok sayıda simülasyon ile modelin farklı parametre değerleri ile farklı tipteki denek davranışlarının elde edilebileceği gösterilmiştir.

İnsan prefrontal korteksinin işlevlerine karşı düşün işlemsel modelleri geliştirmek, yüksek seviyeli yönetsel işlevlerin nasıl oluştuğunu anlamının yanısıra, akıllı sistemlerin oluşturulmasına da katkıda bulunacaktır.

### Teşekkür

Çalışmada kullanılan hasta verilerinin sağlanması ve değerli açıklamalarından dolayı İstanbul Üniversitesi, Çapa Tıp Fakültesi, Nöroloji bölümünden Doç Dr. Hakan Gürvit teşekkürle anılır.

### Kaynaklar

- Amos, A., (2000). A computational model of information processing in the frontal cortex and basal ganglia, *Journal of Cognitive Neuroscience* 12, 505-519.
- Bose, N. ve Liang, P., (1996). Neural network fundamentals with graphs, algorithms and applications, Mc Graw-Hill, NY.
- Brown, L., Schneider, J. ve Lidsky, T., (1997). *Sensory and cognitive functions of the basal ganglia*, Current Opinion in Neurobiology, 7, 157-163.
- Dehaene, S., Changeux, J.P., (1991). The Wisconsin card sorting test: theoretical analysis and modeling in a neuronal network, *Cerebral Cortex*, 1, 62-79.
- Fuster, J.M. (1997). *The prefrontal cortex*, Lippincott-Raven, Philadelphia.
- Heaton, R.K., Chelune, G.S., Talley, J.L., Kay, G.G. Curtis, C., (1993). *Wisconsin card sorting test*. Psychological Assessment Resources.
- Hopfield, J., (1982). *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*, PNAS, 79, 2554-2558.
- Kaplan, G.B., Genç, İ. Güzelış, C., (2001). A simple neural network system for Wisconsin Card Sorting Test, *Proc. EMBC 2001*.

- Leven, S., Levine, D., (1987). Effects of reinforcement on knowledge retrieval and evaluation, *IEEE First ICNN*, 2, 269-279.
- Lezak, M. (1985). *Neuropsychological Assessment*, 2nd Edition, Oxford University Press.
- MacLeod, C., (1991). Half a century of research on Stroop effect: An integrative review, *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- Mehrotra, K., Mohan, K. ve Ranka, S., (1997). *Elements of Artificial Neural Networks*, The MIT Press, Massachusetts.
- Monchi, O., Taylor, J.G., Dagher, A., (2000). A neural model of working memory processes in normal subjects, Parkinson's disease and schizophrenia for fMRI design and predictions, *Neural Networks*, 3, 953-973.
- Weintraub, S. (2000). Neuropsychological assessment of mental state, in Mesulam ed, *Principles of Behavioural and Cognitive Neurology*, 121-173, Oxford University Press, Oxford.
- Zurada, J., (1992). Introduction to artificial neural systems, West Publishing Company, St. Paul.