

Çocuklarda Akıcı Zekanın (Gf) Bilgi İşleme Hızı, Kısa Süreli Bellek ve Çalışma Belleği Kapasitesi ile İlişkisi

I. Ercan Alp*

Burcu Öğüt Özdemir

Boğaziçi Üniversitesi

Özet

Altmış sekiz birinci sınıf öğrencisine, değişik karmaşıklık düzeylerinde yedi bilgi işleme hızı testi, kısa süreli bellek ve çalışma belleği (ÇB) kapasitelerini ölçmek için, sırasıyla, düz ve ters sayı dizisi testleri, ve akıcı zeka (Gf) ölçeği olarak da CogAT™'nin Sözel Olmayan Bataryası (Nonverbal Battery) uygulanmıştır. Hız testlerinden alınan puanlardan dört hız değişkeni türetilmiştir: En basitten en karmaşığa doğru sırasıyla, yalın tepki süresi, algusal seçmeli tepki süresi, görsel arama tepki süresi, ve kavramsal seçmeli tepki süresi (KSTS). Beklentiler doğrultusunda, (1) Gf ile dört farklı bilgi işleme hızı puanları arasındaki ilişkinin gücünün, hız ölçümünde kullanılan testlerin karmaşıklıkındaki azalmaya bağlı olarak azaldığı, ve (2) tüm bağımsız değişkenlerin katkılarının birlikte değerlendirildiğinde, Gf'yi yalnızca ÇB kapasitesinin yordadığı bulunmuştur. Ancak, beklentiler ile uyumlu olarak, en karmaşık hız ölçeği olan KSTS'nin de Gf'nin yordanmasında bir katkısının olabileceği görülmüştür. Ayrıca, hızın Gf'yi ÇB kapasitesinin aracılığı ile dolaylı olarak yordadığı denencesini destekleyecek herhangi bir sonuç bulunmamıştır. Bu sonuçlar, daha önce yetişkinlerde gözlenmiş olan, bilgi işleme hızının göreceli olarak yalın testler ile ölçülmesi durumunda akıcı zekayı yordamadığı bulgusunun, çocuklar için de geçerli olduğu ve hız ile Gf arasındaki olası ilişkinin, hızın ölçümünde etkili olan karıştııcı değişkenlerin (confounding variables), en belirgin olarak da kontrol edilebilen dikkat'in (ÇB kapasitesi), sonucu olduğu görüşünü desteklemektedir.

Anahtar kelimeler: Bilgi işleme hızı, kısa süreli bellek, çalışma belleği, akıcı zeka, CogAT, birinci sınıf öğrencileri

Abstract

Sixty eight Grade 1 pupils were administered seven speed tasks of varying levels of complexity to measure processing speed, Forward and Backward Digit Span tests to measure short-term (STM) and working memory capacity (WMC), respectively, and the Nonverbal Battery of CogAT™ to measure fluid intelligence (Gf). Four speed measures were derived from the scores on the speed tasks: in ascending order of complexity; simple RT, perceptual choice RT, visual search RT, and conceptual choice RT. As predicted, (1) the strength of the relation between speed and Gf decreased with decreasing complexity of the speed measures and (2) when the contributions by all of the independent variables were simultaneously considered, only WMC predicted Gf. Consistent with the predictions, however, the most complex speed measure, the conceptual choice RT, also tended to predict Gf. Furthermore, there was no evidence for speed to indirectly predict Gf via mediation of WMC. These results confirmed that, as was found earlier with adult participants, also in children relatively pure measures of speed are unrelated to Gf, and any relation between speed and Gf is due to confounding by other factor(s), most notably controlled attention (WMC), in its measurement.

Key words: Processing speed, short-term memory, working memory, fluid intelligence, CogAT™, first graders

* Yazışma Adresi: I. Ercan Alp, Boğaziçi Üniversitesi, Psikoloji Bölümü, Bebek, İstanbul, 34342.

E-posta: alpe@boun.edu.tr

Yazar Notu: Verilerin toplanmasında yardımcı olan Ayşegül Erdem Somçelik'e, bilgisayar programını yazmış olan Bülent Teuman'a ve bu yazının son halinden önceki taslağı okumuş olan Roberto Colom ve Sergio Morra'ya, yapıcı eleştirileri ve önerdikleri değişiklikler için teşekkür ederiz. Bu çalışmada kullanılan veriler, Burcu Öğüt Özdemir'in yüksek lisans tezi için yapmış olduğu araştırma çerçevesinde toplanmıştır. Yazarların adı alfabetik sırada verilmiştir. Bu çalışmaya her iki yazar da aynı ölçüde katkıda bulunmuştur.

Zeka konusunda kişilerarası farklılıkların kaynağının ne olduğuna yönelik çalışmaların uzun bir tarihçesi vardır. Bu konudaki görgül çalışma yayınları tarandığında iki kavramsal değişken (construct), en olası kaynaklar olarak ortaya çıkmaktadır: Bilgi işleme hızı ve çalışma belleği.

Bilgi işleme hızı (kısaca, “hız”) kavramı, zeka konusunda “kişilerarası farklılıklar” yaklaşımını (individual differences approach) benimseyenlerce ortaya atılmış çeşitli kuramlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu genel yaklaşım içinde yer alan faktör analitik yaklaşım ile başlayacak olursak görülmektedir ki, ZB test bataryalarında çoğunlukla zaman kısıtlanmalı testler de yer alır. Zihinsel becerilerin faktör analitik olarak irdelendiği çalışmalarda, çeşitli ilk sıra hız faktörleri (first order factors) bulunmuştur (bkz. Carroll, 1993). Genelde bu faktörlerin daha üst sıra faktörler ve sonuçta en üst sıra faktörü g (general intelligence factor) tarafından etkilendiği ileri sürülmüştür. Ancak, bu konuda görüş birliği olduğu söylenemez. Örneğin, Horn ve Noll (1997) zekanın tek faktöre indirgenmesi fikrine karşı çıkmışlar ve herbiri kendi başına bir tür zeka olarak görülmesi gereken yedi farklı beceri olduğunu ileri sürmüşlerdir. Hatta, bu yedi zeka türünün ötesinde, zihinsel hız (Gs) ve karar verme hızı'nın da (QDS) ayrı iki zeka türü olarak görülebileceğini ifade etmişlerdir.

ZB testlerinde performansın temelini oluşturan bilişsel süreçlerin vurgulandığı bilişsel yaklaşım çerçevesinde de, bilgi işleme hızı ile zeka arasında yordayıcı bir ilişki olduğu ileri sürülmüştür. Hızın, inceleme süresi (inspection time, IT) ve benzeri temel bilişsel testler (elementary cognitive tasks) ile ölçüldüğü çalışmalarda, hız ile psikometrik zeka arasında bir ilişki olduğu bulunmuş ve zekayı hızın yordadığı çıkarımı yapılmıştır (örn. Deary, 2000). Hızın, insanların bilişsel becerilerinin temelinde yatan tek ana süreç olduğu fikri bazı araştırmacılarca kabul edilmiş olsa da, bu fikir Stankov ve Roberts (1997) tarafından çürütülmüştür. Kuramsal ve görgül çalışmaların kapsamlı bir eleştirisini yapan bu yazarlar şu

sonuca varmışlardır: “...kabul edilmelidir ki, pek çok farklı süreç zeka faktörlerinin herbirine katkı yapıyor olabilir.” (s.81).

Zekayı belirlediği öne sürülen ikinci kavramsal değişken ise, çalışma belleği'dir (ÇB). ÇB ile ilgili ilk modelin sunulduğu Baddeley ve Hitch'in (1974) makalesi sonrası, pek çok araştırmacı bu konuda çalışmalar yapmıştır. ÇB'nin, bilginin eşzamanlı olarak işlenmesi ve depolanması süreçlerini kapsadığı, kısa süreli belleğin (KSB) ise, yalnızca depolama sürecinden ibaret olduğu görüşü, yakın zamanlara kadar hakim bir görüş olarak kalmıştır. Ancak, son yıllarda bu konuda farklı görüşler de ortaya atılmıştır. Örneğin, ÇB ve KSB kavramlarını derinlemesine irdelleyen Engle, Tuholski, Laughlin ve Conway (1999), bu iki kavram arasındaki farkın, bilginin işlenmesi süreci ile değil, *kontrol edilebilen dikkat* (controlled attention) ile ilgili olduğunu ileri sürmüştürler. Son zamanlarda bu alanda ön plana çıkmış olan araştırmacılarca ortaya atılan çeşitli ÇB kuramları, Miyake ve Shah (1999) tarafından derlenmiş kitapta yer almaktadır.

ÇB ile ilgili tartışmaların bir bölümü, ÇB'nin tekil olarak mı yoksa, çoğul olarak mı ele alınmasının daha doğru olacağı üzerinedir. Birden fazla çalışma belleği kapasitesi (ÇBK) olduğunu iddia edenlerin (örn. Mackintosh ve Bennett, 2003; Shah ve Miyake, 1996) aksine, Colom ve Shih (2004) ve Kane ve arkadaşları (2004), ÇBK'nin genel (yani tekil) olduğunu gösteren sonuçlar elde etmişlerdir. Colom ve Shih (2004), bu tartışmaya ilginç bir çözümlenme önermişlerdir: “ÇB'nin *tamamen* tekil olmadığını herkesin kabul etmesi gerekiyorsa da, geçmişten öğrenme zamanı gelmiştir: Bilişsel beceriler konusunda da olduğu gibi, ÇB hiyerarşik bir yaklaşım içinde, hiyerarşinin en üstünde, tek bir genel amaçlı kaynaklar havuzu olarak görülebilir” (s. 440).

Yetişkinlerle yapılan çalışmalarda ÇB'nin, *uslamlama/muhakeme* (reasoning) becerisini (Kyllonen ve Christal, 1996), *akıcı zeka*'yı¹ (Conway, Cowan, Bunting, Theriault ve Minkoff,

¹ Her ne kadar ZB testleri ile ölçülen zekanın tekil olduğu fikri üzerinde görüş birliği oluşmakta ise de (Demetriou, 2002),

2002; Engle ve ark., 1999), ve psikometrik zekanın hemen her yönünü temsil eden test bataryalarından elde edilmiş *g faktörü*'nü (Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa ve Kyllonen, 2004; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm ve Schulze, 2002) yordadığı bulunmuştur. ÇB ve zeka kavramları, yukarıda adı geçen araştırmacılar bazılarınca neredeyse eşanlamli olarak görülüyor olsalar bile, böyle bir görüşün benimsenmesinin şu an için çok zor olduğu anlaşılmaktadır (bkz., Ackermann, Beier, ve Boyle, 2002).

Aracı Değişken Olarak Çalışma Belleği

Bazı araştırmacılarca, temel bilişsel testlerce ölçülen ve tepki süresi (TS) diye de adlandırılan *bilgi işleme hızı* ile zeka arasındaki ilişkide ÇB'nin aracı rolü oynadığı ileri sürülmüştür. Örneğin, Jensen'e (1993) göre "... TS-g ilişkisini açıklamak için ÇB kapasitesi gereklidir" (s. 55). Gelişim psikolojisi alanında, bu aracılık denencesinin (mediation hypothesis) genişletilmiş hali de ortaya atılmıştır. Kail ve Salthouse (1994), örneğin, bilgi işleme hızındaki yaşa bağlı artışların daha büyük ÇB kapasitesine yol açtığını ve büyüyen ÇB kapasitesinin de daha yüksek zeka puanlarına imkan sağladığını ileri sürmüşlerdir. Çocuklukta yaşlılığa kadar süren bu birbirine bağlı artışların, yaşlılıkta birbirine bağlı düşüslere dönüştüğü görüşünü savunmuşlardır.

Fry ve Hale (1996) 'kademeli model' (cascade model) adını verdikleri bu denenceyi, ikinci sınıftan yedinci sınıfa kadar olan çocukları ve genç yetişkinleri kullandıkları bir çalışmada sınımışlardır. O çalışmada yaştan, bilgi işleme hızı ve ÇB aracılığı ile, akıcı zekaya uzanan anlamlı bir

iz (path) bulunmuştur. Dahası; hız, ÇB, ve akıcı zeka puanlarındaki yaştan kaynaklanan farklılıklar istatistiksel olarak kontrol edildiğinde, aynı izin anlamlı kaldığı gözlenmiştir. Aynı veriler üzerinde daha sonra yapılan analizler, yaşın ÇB'ne olan tüm katkısının yalnızca % 3'ünün hızdan, ve akıcı zekadaki yaşa bağlı tüm farklılıkların yalnızca % 20'sinin hız ve/veya ÇB aracılığından *bağımsız* olduğunu göstermiştir (Fry ve Hale, 2000).

Ancak, Conway ve arkadaşları (2002), bu konuda yapılmış olan çalışmaları yöntem açısından eleştirmişlerdir. Özetle, Gf'yi yordaması olası olan değişkenlerin ölçümünde kullanılan testlerin, model içinde yer alan diğer değişkenlerin karıştırıcı etkilerinden (confounding) uzak olduğunun belirlenmesi amacı ile incelenmesi gerektiğini savunmuşlardır. Eğer bu inceleme (task analysis), farklı bağımsız değişkenlerin ölçümünde kullanılan testlerin birbirleri üzerinde karıştırıcı etkileri olabileceğini gösterir ise, bağımsız değişkenlerin yordayıcı geçerliği belirsiz kalacaktır. Görüşlerine açıklık getirmek üzere, Fry ve Hale'in (1996) çalışmasını örnek olarak almışlar ve o çalışmada hız değişkenini temsil eden ortalama puanların, ikisi ÇB tarafından büyük ölçüde etkilenen, dört test ile ölçülmüş olduğunu göstermişlerdir. O nedenle, söz konusu çalışmada hız ile ÇB arasında bulunan bağlantının, ÇB'nin kullanılmış olan hız testleri üzerindeki karıştırıcı etkisi ile ortaya çıkmış olması düşünülebilir. Bu demektir ki, hızın ÇB'nin karıştırıcı etkisi olmadan ölçülmesi durumunda, hız ile ÇB arasında herhangi bir bağlantı görülmeyecektir.

Yapısal eşitlik modeli (structural equation modelling) tekniklerini kullandıkları çalışmada

birden fazla zeka olduğunu savunan Gf-Gc kuramı bir ölçüde desteklenmiş bir kuramdır (bkz., Horn ve Noll, 1997). Kuramın ilk oluşturulduğu zamanlarda birbirinden farklı sadece iki zeka türü belirlenmiştir: akıcı ve birikimli zeka (fluid and crystallized intelligence). Bunlardan birikimli zekanın (Gc), bireyin içinde büyüdüğü kültürün elverdiği deneyimler yoluyla edinilmiş bir genel yetenek (örn., sözel ve sayısal yetenekler); akıcı zekanın (Gf) ise, birikimli becerilerin bir katkısının olamayacağı yeni durumlara uyum sağlamak için gerekli bir genel yetenek olduğu ileri sürülmüştür (örn., Cattell, 1963). Ancak, bu iki genel yetenek arasında yüksek düzeyde korelasyon olduğu da genel bir bulgudur. Kültürden büyük ölçüde bağımsız olması nedeni ile, bilişsel yaklaşımı benimsemiş araştırmacılar zekanın yordanmasına yönelik çalışmalarda bazen yalnızca Gf'i bağımsız değişken olarak kullanmaktadırlar.

Conway ve arkadaşları (2002), bağımsız değişkenlerin göreceli olarak yalın testlerle ölçülerek (ve gereken istatistiksel önlemler alınarak) aralarındaki karıştırıcı etkiler ortadan kaldırıldığında, genç yetişkinlerde yalnızca ÇB kapasitesinin Gf'yi yordadığını ve diğer değişkenlerin (KSB kapasitesi ve işleme hızının) ise herhangi bir katkısının olmadığını göstermişlerdir. Dahası, hızın ÇB'nin aracılığı ile Gf'yi yordamadığını da göstermişlerdir (bkz., s. 176). Ancak bu araştırmacılar, üniversite öğrencileri ile yapmış oldukları çalışmada bulunan bu sonuçların çocuklar için geçerli olmama olasılığına da değinmişlerdir.

Çocuklar ile yapılmış olan iki çalışma daha vardır. Bunlardan birinde, Miller ve Vernon (1996), 4 ile 6 yaş arasındaki çocuklara TS, bellek (KSB ve ÇB ayırımı yapmaksızın), ve ZB bataryaları uygulamıştır. TS bataryasındaki sekiz testten beşi yalın TS testi olmakla birlikte üçü, bir ölçüde bellek kullanımına gerek gösteren testlerdir. Uyguladıkları çeşitli istatistiksel analizler, TS ile zeka arasında buldukları ilişkinin, yetişkinler ile yapılmış çalışmalarda bulunanlara oranla daha zayıf bir ilişki olduğunu göstermiştir. Eklemek gerekir ki, onların bulduğu hız-bellek ve hız-zeka korelasyonları, Fry ve Hale'in (1996) bulduklarından daha da düşüktür. Ayrıca, her üç kavramsal değişken için temel bileşenler analizleri sonucu genel faktör puanları hesaplanmış ve bu faktörler ile yapılan aşamalı regresyon analizlerinde genel TS faktörünün, genel Bellek faktöründen sonra denkleme girdiğinde, genel ZB faktörünü yordamadığı her üç yaş grubunda da bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle, yalın hız ile zeka arasında anlamlı bir ilişki bulunmamıştır. Bu sonuçlar ışığında Miller ve Vernon (1996), ufak çocuklarda zekayı açıklamak için yetişkinlerde olduğundan farklı bir modele gereksinim olabileceği çıkarımını yapmışlardır. Diğer bir deyişle, ufak yaştaki çocuklarda hız ile zeka arasında bir ilişki olmayabileceğini ifade etmişlerdir.

Fry ve Hale (2000), Miller ve Vernon'un (1996) iz analizleri ve varyansların ayrıştırılması gibi istatistiksel yöntemler kullanmaları halinde,

kendilerinin buldukları ile aynı doğrultuda sonuçlar elde etmiş olabileceklerini iddia etmişlerdir. Ancak, iki çalışma arasında yöntem açısından farklılıklar vardır. İki çalışmaya katılmış çocukların yaşları arasındaki farkın ötesinde, iki fark daha dikkat çekmektedir: (1) Miller ve Vernon'un (1996) çalışmasında zeka, bir genel zeka test bataryası (WISC-R) ile ölçülmüş olduğu halde, Fry ve Hale'in (1996) çalışmasında yalnızca akıcı zeka ölçülmüştür ve (2) Miller ve Vernon'un (1996) kullandığı hız testleri, diğer çalışmada kullanılmış testlerden ortalama olarak daha az karmaşıktır. Dolayısıyla, iki çalışmanın sonuçları arasındaki farklara bu yöntem farklarından herhangi biri yol açmış olabilir. Ancak, Conway ve arkadaşlarının eleştirisi ışığında, hız ölçümleri arasındaki karmaşıklık düzeyi farkının, üç fark arasında en güçlü aday olduğu söylenebilir.

Son olarak, de Jong ve Das-Smaal (1995) akıcı zeka, bilgi işleme hızı, ÇB kapasitesi, ve okul başarısı arasındaki ilişkileri dördüncü sınıf öğrencilerinde incelemiştir. Uygulamış oldukları doğrulayıcı faktör analizi, ÇB ile akıcı zeka, ve hız ile ÇB arasında güçlü birer ilişki olduğunu göstermiştir (faktör korelasyonları, sırasıyla, .66 ve .60). Ancak, kullandıkları üç hız testinden ikisi yalın hız testleri değildir: (1) Ackermann ve arkadaşlarınca (2002) *çağrışımsal öğrenme hızını* ölçtüğü iddia edilen, WISC-R bataryasının *kodlama* testi ve (2) yazarlarca görsel arama ve *zihinsel esnekliği* ölçtüğü belirtilen, Halstead Reitan test bataryasının iz yapma testi (Trail Making Test). Dolayısıyla, bu çalışmada hesaplanan hız faktörünün ÇB tarafından etkilendiğini varsaymak gerekir ve ÇB ile hız faktörleri arasında bulunan korelasyonun, aracılık denencesini desteklediği çıkarımı yapılamaz.

Özetleyecek olursak, bu konuda çocuklarla yapılmış az sayıdaki çalışma, aracılık denencesini kuşku bırakmayacak bir biçimde desteklememektedir. Conway ve arkadaşlarının getirilen eleştiri ışığında, bu denenceyi en uygun istatistiksel teknikleri kullanarak sınanmış olan Fry ve Hale'in (1996) bulduğu, işleme hızından ÇB aracılığı ile Gf'ye giden anlamlı iz'in geçerliği

kuşku uyandırmaktadır. Bu kuşkunun nedeni onların, hız kavramını, bazılarının ÇB tarafından etkilendiği açık olan, çok farklı karmaşıklık düzeylerindeki testler ile ölçmüş olmalarıdır. de Jong and Das-Smaal'ın (1995) çalışmasına da benzer bir eleştiri getirilebilir. Sonuç olarak, hızın ÇB etkilerinden büyük ölçüde arındırılmış olarak ölçülmesi durumunda, Conway ve arkadaşlarının bulgularının çocuklar için de geçerli olduğu beklenebilir

Araştırmanın Amacı

Bu çalışma, özünde, Conway ve arkadaşlarının (2002) çalışmasının çocuklarla bir tekrarıdır. Yalnızca birinci sınıf çocukları kullanılmış ve hız ölçümü, farklı karmaşıklık düzeylerinde dört grup TS testleri ile yapılmıştır: En düşükten en yüksek düzeye doğru sırasıyla, (1) Yalın TS (simple reaction time) testi, (2) iki algısal seçmeli TS (Perceptual Choice RT) testi, (3) daha önceki testlerden farklı olarak belleğe de dayanan iki görsel arama TS (Visual Search RT) testi ve (4) temel düzeyde kavramsal karar verme yetisi gerektiren iki kavramsal seçmeli TS testi. KSB ve ÇB kapasiteleri, WISC-R bataryasında yer alan, sırasıyla, *düz ve ters sayı dizisi testleri* ile ölçülmüştür. Akıcı zekanın (Gf) ölçümü için, Bilişsel Yetenekler Testi'nin Sözel Olmayan Bataryası'ndan yararlanılmıştır (Nonverbal Battery of Cognitive Abilities Test, CogAT™, Riverside Publishing Company, 1993).

Sınanan iki denenceden biri, hız ile Gf arasındaki ilişkinin gücünün, hızın ölçümünde kullanılan TS testinin türüne bağlı olduğu beklentisidir. Daha açık olarak ifade edilecek olursa, bu ilişkinin gözlemlenen gücünün, hızın en yüksek karmaşıklık düzeyindeki ölçümünden, en düşük düzeydeki ölçümüne doğru kademeli olarak azalacağı beklenmiştir. İkinci denence ise, tüm bağımsız değişkenlerin katkıları birlikte hesaba katıldığında Gf'yi, yalnızca ÇB kapasitesinin yordayacağıdır. Bu denencelerin desteklenmesi durumunda, Conway ve arkadaşlarının (2002) bulgularının çocuklar için de genelleştirilebileceği görüşü desteklenmiş olacaktır.

Yöntem

Örneklem

İstanbul İl Eğitim Müdürlüğü'nün izni ile, iki özel ilk öğretim okulu bu çalışmaya katılmıştır. Çalışmanın örneklemini, yaşları 6 yıl 0 ay ile 8 yıl 3 ay arasında değişen, 33 kız ve 35 erkek birinci sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Testlerin hepsini tamamlamamış olan yedi öğrenci (3 kız ve 4 erkek) örnekleme dahil edilmemiştir.

Veri Toplama Araçları

Gf Ölçeği: Akıcı zeka, Şekil Sınıflandırma ve Matrisler testlerinden oluşan, CogAT™'nin Sözel Olmayan Bataryası (Form 5, Level 1; Riverside Publishing Company, 1993) ile ölçülmüştür. En yüksek toplam ham puanı 40 olan bataryanın, her iki testi de 20 maddeden oluşmaktadır. Bir grup yetenek testi olan CogAT™'de yer alan bu bataryanın, *akıcı-analitik ve zihinde canlandırma* yeteneklerini de içeren, sözel olmayan muhakemeyi ölçtüğü anlaşılmaktadır (Thorndike ve Hagen, 1996).

Alp ve Diri'nin (2003) çalışması, testin bütününe ve içerdiği üç bataryanın ayrı ayrı olarak, ana okulu ve birinci sınıfta okumakta olan Türk çocukları için yüksek düzeyde kurultu geçerliği (construct validity) olduğunu göstermiştir. O çalışmada, ham puanların (1) ana okulundan birinci sınıfa arttığı, (2) okulda verilen eğitimin kalitesi ve okula devam eden çocukların SED ile uyumlu olarak, özel okullara devam eden çocuklarda devlet okullarına devam eden çocuklardan daha yüksek olduğu ve (3) eşzamanlı ve 3 yıl sonraki okul başarısını güçlü bir biçimde yordadığı bulunmuştur. Ayrıca, hem testin bütününe, hem de Sözel Olmayan Batarya'nın yüksek düzeyde iç tutarlığı olduğu bulunmuştur (her ikisi için, KR20 katsayısı = .97). Burada sunduğumuz çalışmanın analizlerinde de yine ham puanlar kullanılmıştır.

KSB ve ÇB Ölçekleri: WISC-R Bataryası'nın *düz ve ters sayı dizisi testleri* (Savaşır ve Şahin, 1995), sırasıyla, KSB ve ÇB kapasitelerini

ölçmekte kullanılmıştır. Düz sayı dizisi testi'nin (DSD) KSB ölçümü için geçerli bir test olduğu kabul edilmektedir (örn., Engle ve ark., 1999). Ters sayı dizisi testi (TSD) ise, çeşitli çalışmalarda kullanılmış olan ÇB bataryalarında yer almıştır (örn., Ackerman ve ark., 2002; Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm ve Wittmann, 2000; Süß ve ark., 2002). Ancak, üniversite öğrencileri ile kullanıldığında TSD'nin, aslında ÇB'ni değil, KSB'i ölçtüğüne ilişkin bulgular da vardır (Engle ve ark., 1999). Yine üniversite öğrencileri ile yapılmış olan başka bir çalışmada, düz ve ters seri hatırlama arasında, katılımcıların kullandığı işleme karmaşıklığı düzeyi ve temsil (representation) türü açısından herhangi bir fark olmadığı bulunmuştur (Rosen ve Engle, 1997). Yazarlarca da belirtildiği gibi, bu bulgu çocuklar için geçerli olmayabilir. Birinci sınıf öğrencileri ile yapılmış olan bu çalışmada TSD'nin bir ÇB ölçüğü olarak seçilmiş olması, çocuklar ile yapılmış araştırmaların bulgularına dayanmaktadır. Örneğin, 6 ile 11 yaş arası çocuklar ile yapılmış bir çalışmada, DSD ve TSD'nin farklı faktörlere yüklendiği görülmüştür (Morra, 1994). TSD testinin, diğer ÇB testleri ile aynı faktörde yer alması bu testin ÇB'yi ölçtüğünü göstermiştir.

İşleme Hızı Ölçekleri: Bilgi işleme hızı, bilgisayar desteği ile uygulanan toplam yedi test ile ölçülmüştür. Herbirinde, (1) test bir oyun olarak sunulmuş ve çoğunlukla geometrik şekiller yerine gerçek hayatta kullanılan nesnelerin resimleri kullanılmış, (2) testin gereklerinin doğru olarak anlaşılması için üç alıştırmaya denemesi yapılmış, (3) TS'nin kaydedildiği 10 denemeden veri toplanmış, (4) her denemede uyarıcı, katılımcı klavyenin önceden belirlenmiş tuşuna basana kadar ekranda kalmış ve (5) YTS testi dışında, çocuklardan, üzerlerine, sırasıyla, turuncu ve yeşil renkli bir stiker yapıştırılmış olan, klavyenin A ve L tuşlarından birine basarak tepki vermeleri istenmiştir.

Bu çalışma için yazılmış olan bilgisayar programı, uyarıcının ekranda gözükmesinden sonraki ilk tepkiyi kaydetmiştir. TS, test uyarıcısının ekranda gözükmesinden doğru tepkinin verilmesine

kadar geçen sürenin milisaniye olarak ifadesidir. Uyarıcı olarak, çeşitli nesnelerin resimleri kullanılmıştır. Bu resimlerden bazıları fotoğraf, diğerleri ise özel olarak çizilmiş veya bilgisayardan indirilmiş (clip-art) resimlerdir.

1. Yalın TS Testi (YTS). Bu testin başlangıcında testi uygulayan kişi, gri renkteki ekran üzerinde yan yana yerleştirilmiş renkli bir papağan ve bir kuş kafesi resimini göstermiş ve çocuğa, 'papağan yakalama' oyunu oynayacaklarını söylemiştir. Kendisinden, ne zaman ekranda bir papağan görse, onu 'uçmadan yakalamak için', klavyenin boşluk tuşuna *elinden geldiğince hızlı* basması istenmiştir. Boşluk tuşuna basıldığında, ekranda papağan resminin üzerine kafes resmi gelerek, papağanın 'başarıyla yakalandığı'nı göstermiştir. Papağanın ekranda belirmesinden önce ekranın ortasında siyah bir artı işareti gösterilmiştir. Aynı işaret, uyarıcının kaybolmasından hemen sonra tekrar aynı yerde ortaya çıkmıştır. Denemeler arası zaman aralıkları, 1 ile 3 saniye arasında seçkisiz olarak değişen süreler olarak belirlendikten sonra sabitlenmiştir (fixed-random order). Oyuna başlamadan önce çocuğun, tercih ettiği elinin işaret parmağını boşluk tuşunun üstüne getirmesi ve papağanı her gördüğünde *hemen* tuşa basması istenmiştir.

2. Algısal Seçmeli Tepki Süresi 1 (ASTS-Şekil). Bu test, Miller ve Vernon'un (1996) kullanmış olduğu Şekil Testi'nin (Shape Test) aynısıdır; ancak, onların kullandığı basit geometrik şekiller yerine daha karmaşık uyaranlar kullanılmıştır. Testin her denemesinde, biri ekranın sağında diğeri ise solunda olmak üzere, iki resim gösterilmiştir. Denemelerin yarısında, birbirinin tamamen aynısı olan, diğeri yarısında ise farklı iki resim gösterilmiştir. Aynı ve farklı resimlerin gösterilişi sırası seçkisiz bir biçimde önceden belirlenmiş ve bu sıra her katılımcı için aynı olmuştur. Kullanılan resimler, iki pembe üçgen veya iki sarı kare gibi birbirinin aynı çok basit şekillerden, iki çok ayrıntılı ve renkli 'büyücü' gibi birbirinden biçim olarak büyük ölçüde ve hatta renk açısından da biraz farklı olan resimlere kadar çeşitlilik gösteren geniş bir yelpazeden oluşturulmuştur. Katılımcılardan, iki resimin aynı olduğu denemelerde A tuşuna,

farklı olduğu denemelerde ise L tuşuna, *hemen* basmaları istenmiştir. Bu ve bunu izleyen tüm testlerde, denemeler arası zaman aralığı 2 saniye olarak sabitlenmiştir. Her denemede, resimlerin ekranda görülmesi ile eşzamanlı olarak bir uyarı sesi de verilmiştir.

3. *Algısal Seçmeli Tepki Süresi 2 (ASTS-Renk)*. Bu test, bir fark dışında, öncekinin aynısıdır. Her denemede aynı nesnenin aynı iki resmi kullanılmış ancak, denemelerin yarısında iki resim renk açısından farklı olmuştur. Ayrıca, bir önceki testte kullanılan resimlerden farklı resimler seçilmiştir. Karmaşıklık açısından resimler, basit bir daire veya yıldız resminden, çok ayrıntılı bir biçimde boyanmış vazov resimlerine varan bir farklılığı kapsamıştır. Resimlerin yarısı, iki sarı nergis (*aynı* renk durumu) ve biri mavi diğeri kırmızı olan aynı uçak resmi (*farklı* renk durumu) gibi, tek renkli resimlerden seçilmişse de, diğere resimler çok renkli nesne resimleridir. Çok renkli resimler kullanıldığında, *aynı* ve *farklı* renk durumlarında, aynı nesnenin, sırasıyla, aynı ve farklı renk kombinasyonları içeren resimleri gösterilmiştir.

4. *Kavramsal Seçmeli Tepki Süresi 1 (KSTS-1)*. Bu testte, benzer görünümde olan ama biri *yenebilir* diğeri ise *yenemez* iki nesnenin resmi gösterilmiştir (örn. armut ve ampul veya muz ve asma köprü). Bu ve bir sonraki testte, yalnızca gerçek nesnelerin fotoğrafları kullanılmıştır. Her resim çiftinde, aynı büyüklükte iki fotoğraf kullanılmıştır. İki fotoğraf arasındaki uzaklık, fotoğrafların büyüklüğüne bağlı olarak, 4 ile 10 santimetre arasında değişmiştir. Katılımcılardan, iki uyarıcıdan hangisinin *yenebilir* olduğunu, sağdaki ise L ve soldaki ise A tuşuna *hemen* basarak, göstermeleri istenmiştir. *Yenebilir* nesnenin resmi, denemelerin yarısında sağda diğere yarısında ise solda yer almış ve bu açıdan, önceden seçkisiz olarak belirlenmiş bir sıra sabitlenmiştir.

5. *Kavramsal Seçmeli Tepki Süresi 2 (KSTS-2)*. Her denemede yine iki fotoğraf gösterilmiştir. Bunlardan biri, gerçek bir nesnenin/varlığın fotoğrafı (örn., bir bebek veya kutup ayısı) diğeri ise, onun oyuncakının fotoğrafıdır (örn., bir oyuncak ayı veya oyuncak bebek). Katılımcıdan,

hangisinin *oyuncak* fotoğrafı olduğuna karar verip, sağda yer alıyorsa L, solda yer alıyorsa da A tuşuna *hemen* basması istenmiştir. Yine, oyuncak fotoğrafı eşit sayıda denemede, sağda ve solda yer almış ve uyarıcıların bu açıdan sıralanması önceden seçkisiz olarak belirlenerek sabitlenmiştir.

6. *Görsel Arama Tepki Süresi 1 (GATS-1)*. Bu test, Miller ve Vernon'un (1996) kullanmış olduğu Şekil/Renk Dizisi Testi'nden (Shape/Color String Test) uyarlanmıştır. Teste, katılımcının cinsiyetine uygun olarak, bir kız veya erkek çocuğun (Ayşe veya Ali), annesinden marketten ona birşey almasını istediği anlatılarak başlanmıştır. Her denemede önce, bir saniye süre ile bir içecek veya çikolata resmi gösterilmiş, ekranın boş bırakıldığı .25 saniyelik bir aradan sonra, üç içecek veya üç çikolatadan oluşan bir dizi ekranda belirmiştir. Katılımcının, önce gösterilmiş olan içecek veya çikolatanın bu dizi içinde olup olmadığını belirtmesi istenmiştir. Testin zorluk düzeyini yükseltmek amacı ile, Coca Cola gibi, çok tanınmış ürünlerin resimleri kullanılmamış; hatta, kolay teşhisi engellemek için ürünlerin markası, okunamaz hale getirilmiştir. Önceden gösterilmiş uyarıcının dizi içinde yer aldığını düşündüklerinde *hemen* A tuşuna, yer olmadığını düşündüklerinde ise, L tuşuna basmaları istenmiştir. Denemelerin yarısında hedef uyarıcı dizinin içinde yer almıştır. Yine her katılımcı için, önceden seçkisiz olarak belirlenmiş sabit bir sıra izlenmiştir.

7. *Görsel Arama Tepki Süresi (GATS-2)*. Bir öncekinin aynısı olan bu testte yalnızca kullanılan hikaye değiştirilmiştir. Bu kez, söz konusu olan her gün okulda birşeyini unutan bir çocuktur. Her denemede önce, çocuğun bir gün okulda neyi unuttuğu gösterilmiş, sonradan gösterilen üç okul eşyasından oluşan dizide o eşyanın olup olmadığını *hemen* belirtilmesi istenmiştir. Kullanılan uyarıcılar, cetvel veya kurşun kalem gibi, tipik okul araç/gereçlerinden seçilmiştir. Hikayenin ve hikayedeki çocuğun adı dışında, bu testin uygulanması ile bir önceki testin uygulanması arasında hiçbir fark yoktur.

Tablo 1

Hız Testlerindeki Tepki Süresi ve Doğru Cevap Yüzdelerinin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Hız Testi	Tepki Süresi		Doğru Cevap Yüzdesi	
	Ort.	S	Ort.	S
YTS	595.45	139.13	-	-
ASTS-1 (Biçim)	1391.73	393.31	84.41	13.09
ASTS-2 (Renk)	1463.40	462.33	91.47	11.10
GATS-1	1958.33	897.84	82.21	17.44
GATS-2	1780.48	730.85	88.53	14.48
KSTS-1	1475.83	583.74	95.88	11.49
KSTS-2	1662.46	466.24	95.29	8.55

Not: Tepki süreleri milisaniye olarak ifade edilmiştir.

İşlem

Veri toplama işlemi bahar döneminde yapılmış ve iki ay içinde tamamlanmıştır. Her iki okulda da önce, bilgi işleme hızı ve sayı dizisi testlerinin uygulaması her çocuk için bireysel olarak tek oturumda yapılmıştır. Sırasıyla, YTS, ASTS1, ASTS2, KSTS1, KSTS2, GATS1, ve GATS2 ve hemen ardından, sırasıyla, DSD ve TSD testleri uygulanmıştır. Herbir oturum yaklaşık 35 dakika kadar sürmüştür. Her iki okulda da, tüm birinci sınıf öğrencileri ile ilk oturum tamamlandıktan sonra, her birinci sınıf şubesi için ayrı ayrı, iki oturum daha düzenlenerek, o şubedeki çocuklara toplu olarak CogAT™'in deneme testi ve Sözel Olmayan Batarya'sı iki ayrı günde uygulanmıştır. Deneme testi ile Batarya'nın uygulanması arasında geçen süre, farklı şubelerde, 1 ile 4 gün arasında değişmiş ve iki oturum, sırasıyla, yaklaşık olarak 15 ve 40 dakika kadar sürmüştür.

Tablo 2

Düz ve Ters Sayı Dizileri, ve CogAT™ Sözel Olmayan Yetenek Bataryası Puanlarının Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Test	Ort.	S
DSD	4.76	.85
TSD	3.01	.68
Gf Bataryası	29.15	7.73

Bulgular

Herbir hız testi için bulunan tepki süresi ortalama ve standart kayma değerleri, ve doğru cevap yüzdeleri Tablo 1'de verilmektedir. Doğru cevap yüzdeleri, 82.2 (GATS-1) ile 95.9 (KSTS-1) aralığındadır. Bu değerler, benzer türde testler kullanılarak yapılmış olan çalışmalarda bulunmuş yüzdelerle çok yakındır. Örneğin, Miller ve Vernon'un (1996) çalışmasında bulunan yüzdeler, 83.1 ve 96.1 arasında olmuştur. DSD, TSD ve Sözel Olmayan Batarya (Gf) puanlarının ortalama ve standart kayma değerleri de Tablo 2'de verilmektedir.

Kullanılmış olan yedi hız testinden YTS dışındaki altısından üç ayrı hız puanı türetilmiştir: En basitten en karmaşığa doğru, sırasıyla, Algısal Seçmeli TS (ASTS), Görsel Arama TS (GATS), ve Kavramsal Seçmeli TS (KSTS) puanları. Bu üç hız puanının herbiri, aynı kavramsal değişkeni ölçen iki testten elde edilen puanların ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Bu puanlar oluşturulurken kullanılan test çiftlerinin aralarında, orta ile yüksek arası değerlerde, anlamlı korelasyonlar olduğu görülmüştür; sırasıyla, $r = .60$, $r = .44$ ve $r = .62$ (tüm p değerleri $< .001$).

Dört hız puanı ile çalışmanın geri kalan değişkenlerinden (DSD, TSD ve Gf) elde edilen puanlar arasında bulunan korelasyonların katsayıları Tablo 3'te sunulmaktadır. Hız puanlarının hepsinin birbirleri ile korelasyonunun olduğu ve bu korelasyonların katsayılarının .29

Tablo 3

Çalışmanın Değişkenlerinin Korelasyon Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7
1. YTS	-	.60**	.32**	.29*	-.09	-.26*	-.28*
2. ASTS		-	.65**	.67**	-.15	-.28*	-.36**
3. GATS			-	.73**	-.15	-.15	-.39**
4. KSTS				-	-.16	-.30*	-.49**
5. DSD					-	.27*	.22
6. TSD						-	.41**
7. Gf							-

* $p < .05$, ** $p < .01$ (iki yönlü)

(YTS-KSTS) ile .73 (GATS-KSTS) arasında değiştiği görülmektedir. Ancak, DSD ile hiçbir hız puanı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunamamıştır. Oysa, katsayıları ufak olsa da (-.30 veya daha ufak), her hız puanı ile TSD arasında anlamlı birer korelasyon olduğu görülmüştür. Benzer biçimde, hız puanlarının hepsi ile Gf puanı arasında, katsayıları -.28 (YTS-Gf) ile -.49 (KSTS-Gf) aralığında değişen, korelasyonlar bulunmuştur. TSD ile Gf puanları arasında anlamlı bir korelasyon bulunmuşsa da ($r = .41$, $p < .01$) DSD ile Gf puanları arasındaki korelasyon, ancak anlamlı olma yönünde bir eğilim gösteren düzeyde kalmıştır ($r = .22$, $p = .08$). Son olarak, DSD ile TSD arasında, ufak ama anlamlı bir korelasyon olduğu gözlenmiştir ($r = .27$, $p < .05$).

Regresyon Analizleri

Bu çalışmaya katılan birinci sınıf öğrencilerinin yaşları, 6 yıl 0 ay ile 8 yıl 3 ay arasında olmuştur. Araştırmanın iki temel değişkeni olan Gf ve ÇBK'nin, yaş veya cinsiyet ile ilişkisi olup olmadığını saptamak amacı ile, iki ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Yaş ve cinsiyetin bağımsız değişkenler olarak alındığı bu analizlerde, Gf ve TSD puanları ile iki bağımsız değişken arasında anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. İki analizde bulunan R^2 değerleri, sırasıyla, .003 ve .038

olmuştur (β 'ler $< .123$, p 'ler $> .192$). Bu sonuçlar nedeni ile, aşağıda sunulan analizler yaş ve cinsiyet değişkenleri hesaba katılmadan yapılmıştır.

Çalışmanın denencelerini sınamak üzere Gf puanlarının, YTS, ASTS, GATS, KSTS, DSD ve TSD puanlarınca yordandığı, aşamalı bir çoğul regresyon analizi yapılmıştır. Bağımsız değişkenler regresyon denkleminde yukarıdaki sıra izlenerek katılmıştır. Sonuçlar Tablo 4'te sunulmaktadır².

YTS puanının, tek bağımsız değişken olduğu ilk aşamada, Gf puanını yordadığı görülmektedir ($\beta = - .283$, $p = .019$). İkinci aşamada ASTS puanı da denkleme katıldığında, Gf'yi yalnızca ASTS puanının yordadığı bulunmuştur ($\beta = - .300$, $p = .042$). Diğer bir deyişle, göreceli olarak daha karmaşık bir hız ölçümünden elde edilmiş hız puanı ile birlikte değerlendirildiğinde, basit olan hız ölçümünden elde edilen hız puanı, Gf'yi yordamamaktadır. Aynı durum, giderek daha karmaşık bir hız puanının denkleme girdiği daha sonraki iki aşamada da gözlenmiştir. Her defasında, yalnızca en karmaşık hız puanının Gf'yi yordadığı, diğerlerinin ise artık Gf'yi yordayıcı gücünün kalmadığı bulunmuştur. Her aşamada elde edilen R^2 değişimi anlamlı olmuştur. DSD puanının denkleme girdiği beşinci aşamada, sonuçlarda herhangi bir değişiklik olmamıştır.

² Bağımsız değişkenler arasında anlamlı düzeyde korelasyonlar görülmüş olması nedeni ile, aralarında çoklu bağlantı (multicollinearity) bulunma olasılığına karşı gerekli analizler yapılarak her bağımsız değişken için varyans enflasyon faktörü değerleri (VIF, variance inflation factor) hesaplanmıştır (bkz., von Eye ve Schuster, 1988). Bulunan değerlerin hiçbirinin tehlike sınırına yaklaşmadığı saptanmış olduğundan (değerlerin hepsi < 3), çoklu bağlantı nedeni ile sonuçların etkilenmeyeceği anlaşılmıştır.

Tablo 4

Gf Puanları ile Yapılmış Olan Aşamalı Çoğul Regresyon Analizi Sonuçlarının Özeti

Adım	ΔR^2	<i>F - değişimi</i>	<i>p</i>	β	<i>p</i>
1.	.08	5.74	.02		
YTS				-.28	.02
2.	.06	4.31	.04		
YTS				-.10	.48
ASTS				-.30	.04
3.	.05	3.86	.05		
YTS				-.14	.35
ASTS				-.09	.61
GATS				-.29	.05
4.	.08	6.49	.01		
YTS				-.19	.17
ASTS				.10	.59
GATS				-.08	.64
KSTS				-.44	.01
5.	.02	1.49	.23		
YTS				-.19	.18
ASTS				.11	.57
GATS				-.07	.67
KSTS				-.43	.02
DSD				-.13	.23
6.	.06	5.19	.03		
YTS				-.14	.31
ASTS				.12	.51
GATS				-.13	.44
KSTS				-.34	.05
DSD				.08	.49
TSD				.26	.03

Ancak, TSD puanı dahil edildiği altıncı ve son aşamada şu sonuçlar bulunmuştur: (1) Gf'yi TSD puanı yordamaktadır ($\beta = .264$, $p = .026$) ve (2) KSTS puanının Gf'nin yordanmasına olan katkısı ise, sınırdan anlamlı (marginally significant) bir düzeye gerilemiştir ($\beta = -.341$, $p = .052$).

Bu sonuçlar, hız ile Gf arasındaki ilişkinin gücünün, hızın ölçümünde kullanılmış olan test türünün karmaşıklık düzeyine bağlı olduğu yönündeki birinci denencemizi desteklemektedir. Görülmüştür ki, regresyon denkleminde önceliklerden daha karmaşık bir hız puanı katıldığında, bir tek o hız puanının etkisi anlamlı olarak Gf'yi yordamaktadır ve diğer hız puanlarından hiçbirinin Gf'nin yordanmasına anlamlı bir katkısı kalmamaktadır.

Bu sonuçlar, aynı zamanda, Gf'yi yalnızca ÇB kapasitesinin yordayacağı yönündeki ikinci denencemizi de, olası bir farkla, desteklemiştir. Gerçekten, tüm bağımsız değişkenlerin birlikte değerlendirildiği regresyon analizinin son aşamasında, yalnızca TSD puanı Gf'yi anlamlı düzeyde yordamıştır. Ancak, en karmaşık hız puanı olan KSTS'nin etkisi de sınırdan anlamlı olmuştur. Bu hız puanının yordayıcı gücü bir ölçüde azalmış olsa da, Gf'nin yordanmasına hala bir katkıda bulunabileceği görülmüştür. O nedenle KSTS'nin, Gf puanlarındaki varyansa, ÇB kapasitesi ölçüğü olan TSD'nin varyansının ve diğer hız testleri ile paylaştığı varyansın ötesinde bir katkıda bulunmuş olabileceği anlaşılmaktadır.

Hızın, ÇB kapasitesi aracılığı ile Gf'yi yordayabileceği olasılığını (*aracılık denencesi/mediation hypothesis*) değerlendirmek amacı ile iki regresyon analizi daha yapılmıştır. Bir bağımlı değişkenin, bağımsız bir değişken tarafından başka bir değişkenin (mediator variable) aracılığı ile yordandığını gösterebilmek için (1) bağımsız değişkenin aracı değişkeni, (2) bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni ve (3) aracı değişkenin de bağımlı değişkeni etkilediğinin regresyon analizleri ile belirlenmesi gerekir (Baron ve Kenny, 1986). Yukarıdaki regresyon analizinin altıncı aşamasında elde edilen sonuçlar, aracı değişken olması muhtemel ÇB'nin bağımsız değişken olan Gf'yi yordadığını göstermektedir. O nedenle, *üçüncü* ilişki için destek vardır.

Birinci ve ikinci ilişkiler için destek olup olmadığının anlaşılması amacı ile, (1) bağımlı değişkenin TSD puanı ve bağımsız değişkenin hız olduğu ve (2) bağımlı değişkenin Gf ve bağımsız değişkenin yine hız olduğu, iki regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizlerden ilki, hız puanlarından hiç birinin TSD puanı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir (bkz. Tablo 5). Ancak, bu analizde KSTS puanının TSD puanını yordama yönünde bir eğilim sergilediği görülmüştür ($\beta = -.36, p = .061$).

İkinci analiz ise, hız puanlarından yalnızca KSTS puanının Gf'yi yordadığını göstermiştir (bkz., Tablo 6). KSTS puanının, karmaşıklık açısından en yüksek düzeyde ölçülmüş hızı yansıtır olması nedeni ile, bu sonuçların aracılık modelini desteklediği çıkarımını yapmak çok

Tablo 5
Hız Puanlarından TSD Puanı'nın Yordandığı Regresyon Analizi Sonuçları

	TDS		
	<i>b</i>	<i>SE</i>	β
YTS	-.00	.00	-.19
ASTS	.00	.00	-.06
GATS	-.00	.00	.21
KSTS	-.01	.00	-.36*

* $p = .061$

Tablo 6
Hız Puanlarından Gf Puanı'nın Yordandığı Regresyon Analizi Sonuçları

	Gf		
	<i>b</i>	<i>SE</i>	β
YTS	-.01	.01	-.19
ASTS	.00	.00	.10
GATS	-.00	.00	.08
KSTS	-.01	.00	-.44*

* $p < .05$

zordur. Özellikle, bağımsız değişkenin (hız) aracı değişken (ÇB) üzerindeki etkisi (yukarıda verilen birinci koşul) ile ilgili regresyon analizinde, hiçbir hız puanının istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunamamış olması, aracılık denencesinin desteklenmediğini açıkça göstermektedir.

Tartışma

Yapılmış analizlerin sonuçları göstermektedir ki, (1) hız ile Gf arasındaki ilişkinin gözlemlenen gücü, hızın ölçümünde kullanılan testlerin karmaşıklık düzeyi ile belirlenmekte ve (2) tüm bağımsız değişkenlerin katkıları birlikte hesaba katıldığında Gf'yi, en karmaşık hız ölçümü olan KSTS değişkeninin olası katkısı dışında, yalnızca ÇB kapasitesi yordamaktadır. Bu sonuçlar, çalışmanın iki denencesini de desteklemiştir. Yapılmış olan ek analizler, yine KSTS değişkeninin olası etkisi dışında, hiçbir hız ölçümünün ÇBK'ni yordamadığını göstermiştir. Bu nedenle, aracılık denencesi desteklenmemiştir.

İlk denence ile ilgili olarak sonuçlar, farklı karmaşıklık düzeylerindeki hız ölçümlerinin yordayıcı gücünün, daha karmaşık bir hız ölçümü ile birlikte ele alındığında kaybolduğunu açık bir biçimde göstermiştir. Bu sonuçlar, alanda yerleşmiş olan, hız ölçümleri ile *g* arasındaki korelasyonun, hız ölçümünde kullanılan ölçeklerin artan karmaşıklık düzeyi ile birlikte arttığına dair genel bulgu ile uyumludur (bkz., Jensen, 1998). Bu sonuçlar, ayrıca, en düşük karmaşıklık düzeyindeki bir hız ölçümü ile *g* arasında bir ilişki bulunabilse bile, böylesi bir ilişkinin önemsemeye değmez ve

g 'nin yordanmasında asıl, hız'dan başka faktörlerin (en belirgin olarak da, kontrol edilen dikkat, ÇBK) etkin olduğuna işaret etmektedir. Aslında, bu çalışmada bir kez daha bulunduğu gibi, görelilik olarak yalnız hız ölçümlerinin g 'yi, ÇB aracılığıyla bile yordamadığı anlaşılmaktadır.

İkinci denence ile ilgili olarak bu çalışmada, Gf 'yi yalnızca ÇBK'sinin yordadığı ve KSB ve hız ölçümlerinden hiçbirinin ise, Gf 'yi yordamadığı görülmüştür. Ancak, ÇBK'nın yanı sıra KSTS'nin de anlamlı bir katkısının olabileceğine ilişkin bir sonuç da elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan hız ölçümlerine daha yakından bakıldığında, bu sonuçlara açıklık kazandırabilir. YTS ve ASTS testleri, sırasıyla, duyuusal motor hız (sensorimotor speed) ve çocuğun, önündeki iki uyarıcı arasında basit bir karşılaştırma yapma hızını ölçmekte kullanılmıştır. Geri kalan iki test ise, çocuğun o anda elinde olan algısal verilerin ötesine geçerek karar vermesi gereken durumlardaki hızını ölçmüştür. GATS testlerinde çocuğun, ona gösterilmiş olan bir uyarıcıyı, onun daha sonra gösterilen uyarıcı dizisi içinde olup olmadığına karar verirken, akılda tutması gerekmektedir. KSTS testleri ise, aynı anda gördüğü iki uyarıcıdan hangisinin, belli bir kavramın (yiyecek veya oyuncak) örneği olduğuna karar vermesini gerektirmektedir.

Tablo 3'te görüldüğü gibi, (1) KSTS ve TSD puanlarının varyanslarının ortak bir paydası olduğu ($r = -.30, p < .05$) ve (2) GATS ile TSD arasında ortak varyans olmadığı halde, KSTS ve GATS puanlarının varyansları arasında da, ilkinden daha bile büyük, bir varyans paylaşımı olduğu ($r = -.73, p < .01$) bulunmuştur. Bu sonuçlar KSTS testlerinin, hem *kontrol edilen dikkat* hem de Gf ile arasında çok güçlü bir ilişki olmayan *başka* bir faktörü ölçtüğünü göstermektedir. GATS puanları ile DSD puanları arasında bir korelasyon olmadığı hesaba katıldığında, bu başka faktörün kısa süreli bellek (KSB) dışında bir faktör olması gerektiği anlaşılmaktadır. Akla gelen bir olasılık, KSTS ile GATS testlerinin, bir ölçüde, birikimli zeka'yı (Gc) ölçüyor olabileceğidir.

Bu bağlamda, KSTS testlerinin Gc 'yi de ölçüyor

olması doğal karşılanması gereken bir şey olsa da, GATS testlerinin de aynı işlevi yerine getiriyor olması, açıklanması gereken bir olgudur. Biz bu sonucun, GATS testlerinde kullanmış olduğumuz yöntem ile ilgili olduğuna düşünüyoruz. Özellikle, GATS testleri bir hikaye kurgusu içinde sunulmuş ve uyarıcı olarak, geometrik şekiller yerine, gündelik yaşamda kullanılan nesnelerin resimlerinden yararlanılmıştır. GATS testlerinin bu yönü çocuğa, Gc 'nin de işin içine girmesi ile, fazladan bir yük getirmiş olabilir. Bu olasılığın bundan sonraki çalışmalarda incelenmesi gereklidir.

Hız testlerindeki tepki süresini belirleyen faktörlerin irdelenmesi sonuçlara açıklık kazandıracaktır. Bu çalışmada, bir teste deneyin kullanılması gereken bilişsel sürecin karmaşıklık (complexity) düzeyi, bir değişken olarak ele alınmıştır. Performansın oluşumunda birey tarafından kullanıldığını varsaydığımız bilişsel sürecin karmaşıklığı açısından farklılık gösteren dört düzeyde hız testleri oluşturulmuştur. Ancak, karmaşıklığın ötesinde bir de zorluk (difficulty) faktörü vardır (bkz., Marschalek, Lohman, ve Snow, 1983). Genelde, göreceli olarak karmaşık bir süreç, daha az karmaşık bir süreç göre daha zor olması ve tepki süresinin de daha uzun olması beklenir. Ancak, karmaşıklık düzeyi sabit tutularak testin zorluk düzeyi değiştirilebilir. Örneğin, bu çalışmada kullanılmış olan ASTS-1 testinde olduğu gibi, ekranda aynı anda beliren iki nesnenin aynı olup olmadığına en kısa zamanda karar vermek, göreceli olarak kolay veya zor bir işlem haline getirilebilir. Eğer o iki nesne, basit birer geometrik şekil ise (örn., üçgen ve kare), bu çok kolay bir işlem olacak ve tepki süresi de çok kısa olacaktır. Oysa, o iki nesne, yalnızca tek bir ayrıntı açısından birbirinden farklı olan iki otomobil resmi ise; işlem, karmaşıklık açısından bir önceki işlem ile aynı düzeyde olmasına karşın, zorluk açısından daha yüksek düzeyde olacak ve gözlenen tepki süresi de daha uzun olacaktır.

Bu çalışma için geliştirilmiş olan hız testleri, yöntem bölümünde ayrıntılı olarak betimlendiği gibi, genelde zorluk açısından birbirlerinden farklılık gösteren maddelerden oluşturulmuştur.

O nedenle tepki süreleri, yalnızca zorluk düzeyi düşük maddelerden oluşan testlerde bulunmuş olan sürelerle oranla daha uzun olmuştur. Örneğin, yalnızca geometrik şekiller kullanarak oluşturulmuş ASTS testleri kullanmış olan Miller ve Vernon'un (1996), bu çalışmanın katılımcılarından çok daha küçük yaştaki çocuklarda bulunduğu TS ortalaması, şekil ve renk için, sırasıyla, 1152.85 ve 1164.25 milisaniedir. O iki testin, zorluk açısından farklı düzeylerde maddeler içeren uyarlamasının kullanıldığı bu çalışmada bulunan ortalamalar ise, sırasıyla, 1391.7 ve 1463.4 milisanie olmuştur (bkz., Tablo 1). Tepki süresinin yaş ile kısaltıldığı göz önünde tutulduğunda, aradaki bu farkın ancak maddelerin zorluk düzeyi ile açıklanabileceği açıktır. Ancak, yapılan analizler korelasyon temelli oldukları için, mutlak değerlerin sonuçları etkilemiş olmayacağı da açıktır.

Benzer biçimde, farklı karmaşıklık düzeyinde olduğunu varsaydığımız testlerde ele etmiş olduğumuz tepki sürelerinin de karmaşıklık ile doğrudan orantılı olmadığı Tablo 1'de görülmektedir. Örneğin, en yüksek karmaşıklık düzeyinde olduğunu varsaydığımız KSTS testlerindeki tepki süresi değerleri, GATS testlerindeki tepki süresi değerlerinden daha küçüktür. Ancak, denencelerimiz ile uyumlu olarak, çocuklar arasındaki akıcı zeka puan farklarının, KSTS testleri ile ölçülen hız açısından bulunan farklar ile, GATS testleri ile ölçülen hız açısından bulunan farklardan daha fazla örtüştüğü gösterilmiştir.

Bu çalışmanın yetersiz kaldığı noktalar da vardır. Önce, yalnızca birinci sınıf öğrencilerinden veri toplanmış olduğu için, aşamalı modeldeki yaş'tan hız'a giden izi incelememiz mümkün olmamıştır. Ancak, yazında bunun başka örnekleri vardır. Örneğin, Jong ve Das-Smaal'ın (1995) örnekleme de yalnızca dördüncü sınıf öğrencilerinden oluşturulmuştur. İkinci olarak, KSB ve ÇB kapasitelerinin ölçümü, yalnızca birer ölçek kullanılarak (sırasıyla, DSD ve TSD) gerçekleştirilmiştir. Ancak, DSD ve TSD testleri, sırasıyla, KSB ve ÇB ölçekleri olarak, giriş bölümünde değinilmiş olduğu gibi, en azından 6 ile

8 yaş arasındaki çocuklar için geçerliği kanıtlanmış testlerdir ve her ikisi de, standardizasyon çalışması yapılmış bir test bataryasından alınmıştır. Yine de, ÇB tek bir test ile ölçülmüş olduğu için, bu kavramsal değişkenin TSD testi ile ölçülemeyen yönlerinin etkileri hesaba katılamamıştır. Bu çalışmada, göreceli olarak zayıf kalmış bir ölçüm ile belirlenmiş olsa bile, ÇBK'nın Gf'yi yordadığı bulunmuştur. Bu sonuçların, bir anlamda, ÇB ile Gf arasındaki ilişkinin ne denli güçlü olduğunu gösterdiği de düşünülebilir. Birden fazla ÇB testi uygulanması durumunda, regresyon analizinde ÇB ile Gf arasında, büyük olasılıkla daha da büyük bir ortak varyans paydası bulunabilirdi.

Özetle, yetersiz kaldığı yönlere rağmen bu çalışmada, Conway ve arkadaşlarının (2002) genç yetişkinlerde buldukları sonuçlar tekrarlanmıştır. Her iki çalışmada da ÇBK, Gf'yi yordamış fakat, KSB kapasitesi ve karmaşıklık açısından düşük düzeyde testler ile ölçülen hız ise yordamamıştır. Sonuçların gösterdiği gibi, aynı zamanda ÇBK ile de ilintili olan, tek bir hız ölçümü bu yordamaya katkıda bulunma eğilimi göstermiştir ki, bu da denencelerin mantığı ile tamamen uyumludur. Dahası, işleme hızının ÇB aracılığı ile Gf'yi yordadığını gösterecek herhangi bir kanıt da bulunmamıştır. Bu nedenlerle bu çalışma, Conway ve arkadaşlarının (2002) bulduğu hız, KSB, ÇB, ve akıcı zeka arasındaki ilişkiler örüntüsünün çocuklar için de genelleştirilebileceğini açık bir biçimde kanıtlamıştır. Bu çalışmanın, KSB ve ÇB kapasiteleri birden fazla test ile ölçülerek, geniş bir yaş aralığındaki çocukların katılımı ile tekrarlanması, çıkarımların desteklenmesi açısından faydalı olacaktır.

Sonuç olarak, bu çalışmanın yöntem ve kuram açısından yazına yaptığı katkılar şöyle özetlenebilir. Yöntem açısından değerlendirildiğinde önce, yazında görüldüğünden farklı olarak, bilgi işleme hızı, hem farklı karmaşıklık düzeylerindeki hız testleri ile ölçülmüş hem de bu farklı testler ile ölçülmüş hız değerlerinin akıcı zeka ile olan ilişkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bildiğimiz kadarı ile böyle bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Benzer şekilde, hız ölçümünde birikimli zeka

(Gc) kullanımını gerektirebilecek testlerin zekanın yordanması bağlamında daha önce kullanıldığına dair yazında herhangi bir kanıt bulamadığımızı da eklemek isteriz. Kuramsal açıdan bakıldığında bu çalışma, bilgi işleme hızının, görelî olarak yalın testler ile ölçülmesi halinde, aynen yetişkinlerde bulunmuş olduğu gibi, çocuklarda da Gf'yi, dolaylı veya dolaysız, yordamadığını göstermiştir. Dar bir yaş aralığı seçilmiş olsa da, yetişkinler ile yapılmış çalışmalar ile uyumlu olarak, çocuklarda da Gf'yi ÇB kapasitesinin yordadığı bulunmuştur. Gf'nin, genel zeka faktörü (g) tarafından büyük ölçüde etkilendiği gözönüne alındığında, bu çalışmanın sonuçlarının genel zeka için de genelleştirilebileceği açıktır. O nedenle, giriş bölümünde bir özeti verilmiş olan son yıllarda yapılmış çalışmaların işaret ettiği gibi, kişilerarası zeka farklarının çocuklarda da ÇB kapasitesi farklarına bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

- Ackerman, P. L., Beier, M. E. ve Boyle, M. O. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131 (4), 567-589.
- Alp, I. E. ve Diri, A. (2003). Bilişsel Yetenekler Testi'nin (CogAT®) ana sınıfı ve birinci sınıf öğrencileri için Kurultu geçerliği çalışması. *Türk Psikoloji Dergisi*, 18, 19-31.
- Baddeley, A. D. ve Hitch, G. J. (1974). Working memory. G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Cilt 8) içinde (47-89). New York: Academic Press.
- Baron, R. M. ve Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, 1173-1182.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54 (1), 1-22.
- Colom, R., Rebollo, I., Palacios, A., Juan-Espinoza, M. ve Kyllonen, P. C. (2004). Working memory is (almost) perfectly predicted by g. *Intelligence*, 32, 277-296.
- Colom, R. ve Shih, P. C. (2004). Is working memory fractionated onto different components of intelligence? A reply to Mackintosh and Bennett (2003). *Intelligence*, 32, 431-444.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J. ve Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163-183.
- de Jong, P. F. ve Das-Smaal, E. A. (1995). Attention and intelligence: The validity of the Star Counting Test. *Journal of Educational Psychology*, 87 (1), 80-92.
- Deary, I. J. (2000). Simple information processing and intelligence. R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of intelligence* içinde (267-284). New York: Cambridge University Press.
- Demetriou, A. (2002). Tracing psychology's invisible gⁱⁿⁿ and its visible guards. R. J. Sternberg ve E. L. Grigorenko (Ed.), *The general factor of intelligence: How general is it?* içinde (3-18). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E. ve Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128 (3), 309-331.
- Fry, A. F. ve Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7 (4), 237-241.
- Fry, A. F. ve Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 54, 1-34.
- Horn, J. L. ve Noll, J. (1997). Human cognitive capabilities: Gf-Gc theory. D. P. Flanagan, J. L. Genshaft ve P. L. Harrison (Ed.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* içinde (53-91). New York: Guilford.
- Jensen, A. R. (1993). Why is reaction time correlated with psychometric g? *Current Directions in Psychological Science*, 2 (2), 53-56.
- Jensen, A. R. (1998). *The g factor: The science of mental ability*. Westport, CT: Praeger.
- Kail, R. ve Salthouse, T. A. (1994). *Processing speed as a mental capacity*. *Acta Psychologica*, 86, 199-225.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W. ve Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132 (2), 189-217.
- Kyllonen, P. C. ve Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?

Intelligence, 14, 389-433.

- Mackintosh, N. J. ve Bennett, E. S. (2003). The fractionation of working memory maps onto different components of intelligence. *Intelligence, 31, 519-531.*
- Maraschek, B., Lohman, D. F. ve Snow, R. E. (1983). The complexity continuum in the radex and hierarchical models of intelligence. *Intelligence, 7, 107-127.*
- Miller, L. T. ve Vernon, P. A. (1996). Intelligence, reaction time, and working memory in 4- to 6-year-old children. *Intelligence, 22, 155-190.*
- Miyake, A. ve Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control.* New York: Cambridge University Press.
- Morra, S. (1994). Issues in working memory measurement: Testing for M capacity. *International Journal of Behavioral Development, 17, 143-159.*
- Oberauer, K., Süß, H. M., Schulze, R., Wilhelm, O. ve Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences, 29, 1017-1045.*
- Riverside Publishing Company (1993). *Cognitive Abilities Test™ (Form 5, Level 1).* Itasca, IL: Author.
- Rosen, V. M. ve Engle, R. W. (1997). Forward and backward serial recall. *Intelligence, 25, 37-47.*
- Savaşır, I. ve Şahin, N. (1995). *Wechsler çocuklar için zeka ölçeği (WISC-R). (Manual for the Turkish version of WISC-R).* Ankara: Türk Psikologlar Derneği.
- Shah, P. ve Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 125 (1), 4-27.*
- Stankov, L. ve Roberts, R. D. (1997). Mental speed is not the 'basic' process of intelligence. *Personality and Individual Differences, 22 (1), 69-84.*
- Süß, H., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O. ve Schulze, R. (2002). Working memory capacity explains reasoning ability and a little bit more. *Intelligence, 30, 261-288.*
- Thorndike, R. L. ve Hagen, E. P. (1996). *CogAT® (Form 5): Interpretive guide for school administrators (all levels).* Itasca, IL: Riverside Publishing.
- van Eye, A. ve Schuster, C. (1998). *Regression analysis for social sciences.* San Diego, CA: Academic Press.

Summary

Prediction of Fluid Intelligence in First Graders From Processing Speed, Short-Term Memory, and Working Memory Capacity

I. Ercan Alp*

Burcu Öğüt Özdemir

Boğaziçi University

The quest to discover the source of individual differences in intelligence has a long history. Two constructs, speed and working memory, seem to stand out in the empirical literature as the most likely candidates in this respect.

The *speed* construct features in various conceptualizations of intelligence within the general individual differences approach. Starting with the factor analytic approach, IQ test batteries typically include several timed tests. Various first order speed factors have been identified in factor analytic studies of cognitive abilities (see Carroll, 1993, for a comprehensive review). Turning to the cognitive approach in which cognitive processes that presumably underlie performance on IQ tests are emphasized, the speed in performing elementary cognitive tasks (ECTs), such as inspection time (IT) among others, has been extensively studied in relation to psychometric intelligence (e.g., Deary, 2000). Claims that speed may be the basic process underlying human cognitive abilities, however, has been strongly criticized by Stankov and Roberts (1997).

The second construct, *working memory* (WM), has also been considered as a determinant of

intelligence. Until recently, WM has been argued to involve simultaneous processing and storage of information whereas short-term memory (STM) involved storage only. Recently, however, other formulations have been put forward. For example, Engle, Tuholski, Laughlin, and Conway (1999) who present a comprehensive discussion of the WM and STM constructs, argue that it is the *controlled attention* rather than processing requirement that differentiates between the two constructs.

A number of studies that employed adult participants showed that WM strongly predicts reasoning ability (Kyllonen & Christal, 1996), fluid intelligence (Engle et al., 1999; Conway, Cowan, Bunting, Theriault & Minkoff, 2002), and *g* extracted from a battery of tests covering virtually all facets of psychometric intelligence (Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm & Schulze, 2002; Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa & Kyllonen, 2004). Although some of the authors cited above seem to suggest that the WM and intelligence constructs may be virtually identical, it may be too soon to make such a claim (see Ackermann, Beier & Boyle, 2002, for a strong critique).

* Address for Correspondence: I. Ercan Alp, Boğaziçi Üniversitesi, Psikoloji Bölümü, 34342, Bebek/İstanbul, Turkey.
E-mail: alpe@boun.edu.tr

Note from authors: An English version of the entire manuscript may be obtained from I. Ercan Alp (alpe@boun.edu.tr) upon request.

The Mediation Hypothesis

Some theorists have suggested that working memory may mediate the link between speed measured by ECTs, also referred to as reaction time (RT), and intelligence. Jensen (1993), for example, argued that "... the concept of capacity of WM is needed to account for the RT-g relation." (p. 55). In the developmental literature, an expanded form of the mediation hypothesis has been argued to explain age related changes in intelligence across the life span. Kail and Salthouse (1994), for example, have suggested that processing speed increases with age which leads to a larger WM capacity and larger WM capacity, in turn, leads to higher intelligence up to old age. The reverse pattern has been proposed for the aging years.

Fry and Hale (1996) tested the hypothesis, which they named as a "cascade model," in a study with children from second to seventh grades and young adults. The results of their study supported the hypothesis. The methodological critique presented by Conway et al. (2002), however, casts doubt on the extent to which the results of Fry and Hale (1996) support the mediation hypothesis. Conway et al. argue that tasks that are employed to measure each potential predictor should be task analyzed against potential confounding by other predictors in the model. If the task analysis suggests considerable confounding of this kind, the predictive validity of the constructs involved would be indeterminate.

Using structural equation modeling techniques, Conway et al. (2002) showed that when the potential confounding among the independent variables is avoided by employing relatively pure tasks and the appropriate statistical manipulations when necessary, fluid intelligence in young adults is predicted from working memory capacity (WMC) alone when the independent contributions of all three constructs (i.e., STM capacity, WMC, and processing speed) are considered simultaneously. Moreover, there was no evidence to suggest a significant path from speed to fluid intelligence via WM (see SEM2 results on p. 176). However,

Conway et al. did leave open the possibility that their findings obtained from a sample of college students might not generalize to children.

There are two more relevant studies carried out with children. The results of Miller and Vernon (1996) study in which mostly simple speed tests were employed do not support the mediation hypothesis and the study by de Jong and Das-Smaal (1995) is subject to the same criticism as that by Fry and Hale (1996). Therefore, Conway et al.'s (2002) findings might generalize to children as well, provided that speed is measured by tasks that do not tax WMC beyond a minimal level.

The Present Study

The present study is essentially a replication of the study by Conway et al. (2002) with children. We employed only one age group, first graders, and attempted to manipulate the complexity of the processing speed tasks by employing four different sets of RT tasks that varied in processing complexity: in ascending order of complexity, (1) a simple RT task (a sensorimotor speed task), (2) two perceptual choice RT tasks, (3) two visual search RT tasks which involved an extra *memory* demand not present in the preceding tasks, and (4) two conceptual choice RT tasks which involved conceptual, rather than purely perceptual, decision making at a basic level. STM capacity and WMC were measured by Forward and Backward Digit Span subtests of WISC-R (FDS and BDS), respectively. To measure fluid intelligence (Gf), we employed the Nonverbal Battery of Cognitive Abilities Test (CogAT™; Riverside Publishing Company, 1993).

We predicted that, first, the strength of the link between speed and Gf will depend on the kind of RT task by which speed is measured; specifically, that the observed strength of the link will decrease from the most complex to the simplest speed measure. Second, when contributions of all independent variables are assessed simultaneously, only WMC will predict Gf. Confirmation of these predictions would provide evidence for the generality of

Conway et al.'s (2002) findings in the case of children as well.

Method

Participants

Two private schools in İstanbul participated in the study upon receiving official permission from the Ministry of National Education. Sixty eight pupils (33 girls and 35 boys) from five Grade 1 classes were tested. Their age ranged from 6 years 0 months to 8 years 3 months with a mean of 6 years 9 months. A total of seven additional children, three girls and four boys, failed to complete all of the tests. They were excluded from the sample.

Measures

The Gf Measure: We employed the Nonverbal Battery of CogAT™ (Form 5, Level 1; Riverside Publishing Company, 1993) which comprises the Figure Classification and Matrices tests. Each test comprises 20 items and the maximum total raw score for the battery is 40. The Nonverbal Battery has been argued to measure nonverbal reasoning, including fluid-analytic abilities and visualization (Thorndike and Hagen, 1996). Alp and Diri (2003) present evidence for the construct validity of the instrument for Turkish kindergarten and Grade 1 pupils. They found that raw scores (1) increase from kindergarten to Grade 1, (2) are higher for the pupils attending private schools compared to public schools, consistent with the quality of education provided by and the SES background of children attending the respective kinds of schools, and (3) strongly predict concurrent and later academic achievement. They also report a high degree of internal consistency for the entire instrument as well as the nonverbal battery (KR20 coefficient = .97 in both cases). In the present study, again raw scores were employed in the analyses.

STM and WMC Measures: Forward and Backward Digit Span tests of WISC-R (Savaşır & Şahin, 1995) were employed to measure STM and WM capacity, respectively. Forward span

tasks seem to qualify as STM measures (e.g., Engle et al., 1999). Backward Digit Span (BDS) has been included in the WM batteries of various studies (e.g., Ackerman, et al., 2002, Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm & Wittmann, 2000; Süß, et al., 2002). However, there is evidence showing that in college students backward span tasks may qualify as STM rather than WM measure (Engle et al., 1999; Rosen & Engle, 1997). Our choice of the forward and backward span tests to measure STM and WM capacity in first graders is justified by the results of studies carried out with children. In a study with children 6 to 11 years of age, for example, FDS and BDS tasks were found to load on different factors (Morra, 1994).

Processing Speed Measures: A total of seven computer-assisted RT tasks were employed to measure speed of information processing. In all them, (1) the task was introduced as a game and for the most part pictures of everyday objects, rather than geometrical shapes, were employed as stimuli, (2) three practice trials were run to ensure correct comprehension of the task requirements, (3) ten test trials were run on which the participants' RT was recorded, (4) on every trial, the test stimulus stayed on the screen until the participant hit the specified button of the keyboard, and (5) except for the simple reaction time task, the child was asked to respond by hitting the A or the L button of the keyboard and these buttons were made salient by placing an orange and a green sticker, respectively, on them.

The computer program prepared for the study recorded the first response after the test stimulus appeared on the screen on test trials. RT was calculated as the latency of the correct response to the presentation of the test stimulus in milliseconds. The pictures comprised photographs, clip-art pictures, and hand drawn pictures of a variety of common objects.

1. The Simple RT Task (SRT). In the context of a 'parrot catching' game, the child was instructed to hit the space bar on the keyboard *as quickly as possible*. The interval between the test trials varied

from 1 to 3 seconds in a fixed-random fashion. The child was asked to place the index finger of the preferred hand on the space bar before starting the game and press it as soon as the parrot appeared on each trial.

2. *Perceptual Choice Reaction Time 1 (PCRT-Shape)*. This was similar to the *Shape Test* employed by Miller and Vernon (1996) except that stimuli of widely varying complexity levels were used. The participant was asked to indicate *as quickly as possible* whether the two simultaneously presented pictures were *same* or *different* in shape by pressing the A or the L button, respectively. In this task and in all of the remaining ones, the inter-trial interval was 2 seconds in duration and, on every trial, a warning tone was sounded simultaneously with the appearance of the stimuli on the screen.

3. *Perceptual Choice Reaction Time Task 2 (PCRT-Color)*. This task was exactly the same as the PCRT-Shape, except that the two pictures always depicted the same object on any given trial, but on one half of the trials, both objects were also of the same color and on the other half of the trials, they were of different colors.

4. *Conceptual Choice Reaction Time 1 (CCRT-1)*. In this task, two pictures depicting objects of similar shape were presented, but one was a picture of an edible thing and the other was not (e.g., a banana and a suspension bridge or a pear and a light bulb). In this task and its variant presented immediately below, all the stimuli were photographs of actual objects. Participants were asked to indicate *as quickly as possible* which one of the two stimuli was edible by hitting the L button, if the picture appeared on the right hand side and the A button, if it appeared on the left hand side. Again, the picture of the edible thing appeared equally often on each side and a random order was fixed and it was employed with all participants.

5. *Conceptual Choice Reaction Time 2 (CCRT-2)*. Again, two stimuli were presented on every trial of this task: One was a photograph of a real thing, such as a polar bear or a human baby, and the other

was a photograph of its toy version, such as a teddy bear or a doll, respectively. The participant had to decide which photograph depicted the toy version and hit the A button, if that photograph appeared on the left hand side and the L button, if it appeared on the right hand side. Again, the photograph of the toy version appeared equally often on each side and a random order was fixed for every participant.

6. *Visual Search Reaction Time Task 1 (VSRT-1)*. This task was fashioned after the Shape/Color String Test employed by Miller and Vernon (1996). It was introduced by telling participants that a girl or boy, depending on the gender of the participant, asked his/her mother to get a refreshment for him/her from the supermarket. On each trial, participants were first shown a picture of a drink or a chocolate bar for one full second. Following a .25 sec interval during which the screen was empty, a string of *three* pictures was presented and the child was to indicate as quickly as possible whether the item was included in the string.

7. *Visual Search Reaction Time 2 (VSRT-2)*. In this variant of the task, the story line involved a child who was notorious for leaving his/her things behind in school everyday. On each trial, first, the thing that the child had left behind on a day was presented, and the participant had to indicate *as quickly as possible* whether the string of items that followed included the left-behind item. Except for the story line, the pictures employed, and the names for the fictive child chosen for this variant of the task, the two visual search tasks were identical in their administration.

Procedure

Testing was carried out in the spring term in both of the participating schools. All data were collected within two months. In each school, first, speed tasks and both digit span tests were individually administered to all children in a single session for each child. Every session started with the administration of the speed tasks (SRT, PCRT1, PCRT2, CCRT1, CCRT2, VSRT1, and VSRT2, in that order) and continued with the forward and

backward digit span tests, again, in that order.

Once testing of all of the available children in a school was completed, the practice session of CogAT™ and administration of the Nonverbal Battery were carried out on two separate days and separately for each Grade 1 class of the school.

Results

The scores from seven processing speed tasks employed in the study were parsed into four processing speed measures: SRT, Perceptual Choice RT (PCRT), Visual Search RT (VSRT), and Conceptual Choice RT (CCRT). Except for the SRT, these measures were obtained by averaging scores from two tasks that were meant to measure the same construct. Across the three measures, the scores from the two tasks correlated with each other at a moderate to high level ($r = .60$, $r = .44$, and $r = .62$, respectively; all p 's < .001).

All speed measures correlated with each other and the size of the coefficients ranged from .29 (SRT-CCRT) to .73 (VSRT-CCRT). None of the speed measures, however, correlated with FDS at a statistically significant level. Yet, with the exception of VSRT, all speed measures also correlated with BDS although the coefficients were -.30 or smaller. All speed measures also correlated with the Gf score ranging from -.28, in the case of SRT, to -.49, in the case of CCRT. Although the Gf score correlated moderately with BDS ($r = .41$, $p < .01$), its correlation with FDS ($r = .22$) approached significance ($p = .08$). Finally, a small but significant correlation was observed between FDS and BDS ($r = .27$, $p < .05$).

Regression Analyses

To test the hypotheses of the study, a hierarchical multiple regression analysis of the Gf score was carried out with the SRT, PCRT, VSRT, CCRT, FDS, and BDS scores as the independent variables. The independent variables were entered into the equation in the same order as above. When entered as the only independent variable, the SRT

score did predict the Gf score ($\beta = -.283$, $p = .019$). Yet, when the PCRT score was entered into the equation, SRT no longer did so, but the PCRT score did ($\beta = -.300$, $p = .042$). That is, in the presence of a score of a relatively more complex speed measure, the score of the less complex one did not contribute to the prediction of the Gf score anymore. In fact, the same pattern was observed in the next two steps along with a steady increase in the complexity of the newly entered speed measure. Only the score of the most complex measure in the equation, CCRT, predicted the Gf score ($\beta = -.44$, $p = .01$) and the rest of the speed measures did not (all β 's < -.20, all p 's > .17). It is important to note that there was a significant R^2 change at every step from the first to the fourth.

Inclusion of the FDS score into the equation at the fifth step did not make a difference in the results, but inclusion of the BDS score on the sixth step did. In this final step when all the independent variables were in the equation, the BDS score predicted the Gf score ($\beta = .264$, $p = .026$). The contribution of the CCRT to the prediction became marginally significant ($\beta = -.341$, $p = .052$) and no other variable made a significant contribution.

These results confirmed our first prediction that the strength of the link between speed and Gf will depend on the complexity of the speed measure. Indeed, every time a more complex speed measure was entered into the equation, only the effect of the variable entered last, predicted Gf and none of the previously entered ones did so. The results also confirmed our second prediction that only WMC will predict Gf, albeit with a caveat. Indeed, when all independent variables were in the equation, only the effect of the BDS score was statistically significant. Yet, the effect of the most complex speed measure, CCRT, was marginally significant. It seems that CCRT may contribute to the variance in the Gf scores an extra amount beyond that it shares with the remaining speed measures and with the WMC measure.

To explore the possibility that WMC might mediate the effect of speed on Gf, we carried

out a new regression analysis in which the BDS score was the dependent variable and the four speed measures were the independent variables. The results showed that, with a possible exception of the CCRT score ($\beta = -.36, p = .061$), none of the speed measures predicted the BDS score. These results indicated that WMC may not be predicted from speed measures. Hence they do not support the mediation hypothesis. The marginally significant effect of CCRT suggests that this speed measure, the most complex one, may share some variance with BDS. Therefore, it seems that CCRT may indeed tap controlled attention (WMC) to an appreciable degree as intended in its construction.

Discussion

The results of this study supported the predictions that (1) the strength of the relation between a speed measure and Gf will depend on the complexity of the tasks involved and (2) only WMC will predict Gf when contributions from all independent variables are assessed simultaneously. The results of the additional analyses also showed that, with a possible exception of CCRT, none of the speed measures predicts WMC. Therefore, the results of the present study do not support the mediation hypothesis.

With respect to the first prediction, the results clearly showed that the predictive power of each speed measure vanished in the presence of more complex ones. They further suggest that, although even the simplest speed may be related to g , this relation is negligible because factor(s) other than basic speed, most notably controlled attention (WMC), appear to be critical in the prediction of g . In fact, as replicated in this study, basic speed as assessed by relatively pure measures may not even indirectly predict g via mediation by WM.

Turning to the test of our second prediction, in the present study neither any of the four speed measures nor the STM measure predicted Gf, but WMC did so. However, along with the WMC measure, the most complex speed measure, CCRT, also tended to so. An inspection of the demands of

the speed measures may shed light on these results. In the present study, the SRT and PCRT tasks, measured sensorimotor speed and the speed at which children could make a simple comparison between two visually available stimuli, respectively. The remaining two kinds of tasks, however, required that the child go beyond the perceptually given to make a decision. On VSRT tasks, children had to keep in mind a previously presented stimulus while searching for it in the subsequently presented set of stimuli. On CCRT tasks, they had to decide which of the two simultaneously presented stimuli matched the concept (i.e., *food* and *toy*, respectively).

An inspection of the zero order correlations showed that (1) CCRT scores shared a substantial amount of variance with BDS scores ($r = -.30, p < .05$), suggesting that they both tap controlled attention, and (2) CCRT scores also shared even a greater amount of variance with VSRT scores ($r = -.73, p < .01$), although the latter did not share any variance with BDS scores. These results suggest that CCRT taps both controlled attention and another factor that is not strongly related to Gf. Because VSRT scores did not correlate with FDS scores, this factor does not seem to involve STM capacity, despite the presumed involvement of memory. One possibility that comes to mind is that both CCRT and VSRT tap crystallized intelligence (Gc). That CCRT tasks, which involve conceptual reasoning, should tap Gc goes without saying; however, why VSRT tasks should also do so requires an explanation. We think that this may be related to the design of the VSRT tasks employed in this study. Specifically, the VSRT tasks involved a story line and everyday objects (i.e., school related objects and refreshments sold at supermarkets, respectively), rather than geometrical shapes. This feature of the VSRT tasks might have introduced an extra demand on the child by tapping their Gc. This possibility should be investigated in future studies.

There are some shortcomings of the present study. First of all, we employed only one age group which did not allow us to investigate the path from age to speed in the cascade model. Secondly, we

employed only a single task to measure each of the two memory constructs: STM capacity and WMC (i.e., by FDS and BDS, respectively). It should be noted, however, that (1) both forward and backward digit span tasks seem to be established measures of the respective constructs, at least for children as young as 6 to 8 years of age, and (2) the items have been taken from a standardized test. Nevertheless, using a single WM task left other facets of the construct untapped in this study. Even this rather impoverished measure of WMC, however, did significantly predict fluid intelligence in the present study. This would speak for the robustness of the relation between the two constructs. In fact, had we used several tasks to measure WMC, a higher amount of variance in the Gf scores could have been accounted for by WMC in the regression analyses.

In conclusion, despite the shortcomings of the present study, the results replicated those of Conway et al. (2002) who employed young adults. In both studies, WMC predicted fluid intelligence, but STM capacity and relatively simple speed measures did not. As the results showed, only one speed measure that also tapped WMC contributed to the prediction of Gf, which is fully consistent with the reasoning behind our hypotheses. Furthermore, there was no indication that processing speed might indirectly predict Gf via mediation of WMC. Therefore, the present study provides clear evidence for the generality of the pattern of relations found by Conway et al. (2002) among speed, STM, WMC, and fluid intelligence for children as well. Replication of the study with a wider age range and multiple measures of WM and STM is in order.