

Makalenin Geliş Tarihi : 26.04.2009  
Makalenin Kabul Tarihi : 01.07.2009

## **FARKLI PUZOLANLARLA ÜRETİLMİŞ ÇİMENTOLARIN DAYANIM GELİŞİMİNİN YAPAY SINIR AĞLARIYLA TAHMİNİ**

İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Cenk KARAKURT<sup>2</sup>, Mustafa SARIDEMİR<sup>3</sup>

**ÖZET:** Bu çalışma, çimento üretiminde kullanılan mineral katkılarda en uygun kullanım oranının belirlenmesi için yapılmıştır. Laboratuvarında farklı kaynaklardan sağlanan doğal zeolit, tras, volkanik tüf, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkıları, çimento üretiminde klinker yerine %10, 20, 30, 35, 40 ve 45 oranlarında kullanılmıştır. Çimentolar üzerinde yapılan 2, 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımı deneyleriyle dayanım gelişimi belirlenmiştir. Daha sonra deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağı (YSA) yönteminde model geliştirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Katkılı çimento; Pozolanlar; Basınç dayanımı; Yapay sinir ağları.

## **PREDICTING THE STRENGTH DEVELOPMENT OF DIFFERENT POZZOLAN CEMENTS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**ABSTRACT:** This study is based on the determination of optimum usage of mineral additives as supplementary cementing material for blended cement production. For this purpose, blended cements were produced under laboratory conditions with natural zeolite, trass, volcanic tuff, fly ash and ground granulated blast furnace slag at 10, 20, 30, 40 and 45% clinker replacement ratios. Strength development of the cements was determined with compressive strength tests performed at 2, 7, 28 and 180 days. Experimental results were also obtained by building models according to artificial neural network (ANN) system.

**KEYWORDS:** Blended cement; Pozzolans; Compressive strength; Artificial neural network

<sup>1</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Blm., Meşelik Kamp., 26480 ESKİŞEHİR

<sup>2</sup> Bilecik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gülümba, 11210 BİLECİK

<sup>3</sup> Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bor Yolu, 51100 NIĞDE

## ***I. GİRİŞ***

Beton, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Betonun dayanıklılığı, üretiminin kolaylığı ve üretim giderlerinin düşük olması inşaat uygulamalarında tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Beton üretiminde kullanılan bileşenler arasında en pahalı olan bileşen çimentodur. Çimentoda kullanılan klinkerin üretiminde yüksek enerji gereksinimi çimentonun üretim giderlerini artıran en önemli etkidir. Betonun geçirimsizliğini azaltmaları, ekonomik ve ucuz olmaları, çimentonun hidrasyon ısısını azaltmaları ve betonun ileri yaş dayanım ve dayanıklılığını artırdıkları için puzolanik malzemeler çimento üretiminde katkı malzemesi olarak uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Puzolanik malzemelerde bulunan amorf silis, çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan serbest kireçle reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanır. Puzolanik katkı malzemeleri aynı zamanda betonun ileri yaş kalıcılığını da önemli oranda artırır [2]. Doğal kaynakların ve çevrenin korunması sağlanmakta ve ürün maliyeti azalmaktadır. Ayrıca bu şekilde bazı endüstriyel atıklardan da yararlanılmaktadır. Puzolanların birkaçını birlikte kullanarak etkileri en uygun hale getirmek olasıdır. Tek bir puzolanik özeliğe sahip katkı ya da birden fazla katkı bileşeninin kullanıldığı katkı çimento üretimine önem verilmelidir [3].

Zeolitlenmiş tüfler ve amorf silisli tüfler çimento endüstrisinde en yaygın kullanılan doğal puzolanlardır. Zeolitlerin puzolanik aktivitesi malzemenin fiziksel kimyasal ve mineralojik özelliklerine bağlıdır [4]. Diğer taraftan, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi endüstriyel atık malzemeler çimento üretiminde yapay puzolan olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun puzolanik aktiviteleri, camsı yapıları ve kimyasal kompozisyonlarıyla ilişkilidir [5]. Yapılan çalışmada laboratuvarında üretilen katkı çimento karışımlarında klinker yerine üç farklı doğal puzolan (Eskişehir trası, Nevşehir tufu ve klinoptilolit) ve iki farklı yapay puzolan (uçucu kül ve yüksek fırın cürufu) %10, 20, 30, 40 ve 45 oranlarında kullanılmıştır. Katkılı çimentolarla üretilen harç numunelerinin 2, 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımları belirlenerek çimentoların dayanım gelişimi deneysel olarak belirlenmiştir. Daha sonra deneysel veriler kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağı (YSA) modeliyle farklı mineral katkı çimentoların basınç dayanımlarının gelişimi tahmin edilmiştir.

Deneyisel çalışmalardan elde edilen 61 tip katkılı ve katkısız çimentoya ait 244 farklı harç numunesinin basınç dayanımlarından bir kısmı Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneyisel çalışmalardan elde edilen kısmi veriler

Çimento Kodu	Basınç Dayanımı, MPa			
	2 Gün		2 Gün	
CEM I 42,5	22,00	CEM I 42,5	22,00	CEM I 42,5
ETÇ 10	11,60	ETÇ 10	11,60	ETÇ 10
ETÇ 20	9,68	ETÇ 20	9,68	ETÇ 20
ETÇ 30	10,31	ETÇ 30	10,31	ETÇ 30
ETÇ 40	8,80	ETÇ 40	8,80	ETÇ 40
ETÇ 45	6,00	ETÇ 45	6,00	ETÇ 45
ZKÇ 10	12,31	ZKÇ 10	12,31	ZKÇ 10
ZKÇ 20	11,23	ZKÇ 20	11,23	ZKÇ 20
ZKÇ 30	10,97	ZKÇ 30	10,97	ZKÇ 30
ZKÇ 40	7,25	ZKÇ 40	7,25	ZKÇ 40
ZKÇ 45	6,95	ZKÇ 45	6,95	ZKÇ 45
NTÇ 10	11,93	NTÇ 10	11,93	NTÇ 10
NTÇ 20	11,18	NTÇ 20	11,18	NTÇ 20
NTÇ 30	8,13	NTÇ 30	8,13	NTÇ 30
NTÇ 40	5,67	NTÇ 40	5,67	NTÇ 40
NTÇ 45	4,32	NTÇ 45	4,32	NTÇ 45
UKÇ 10	11,56	UKÇ 10	11,56	UKÇ 10
UKÇ 20	10,6	UKÇ 20	10,6	UKÇ 20
UKÇ 30	8,67	UKÇ 30	8,67	UKÇ 30
UKÇ 40	8,12	UKÇ 40	8,12	UKÇ 40
UKÇ 45	7,87	UKÇ 45	7,87	UKÇ 45
YFCC 10	13,81	YFCC 10	13,81	YFCC 10
YFCC 20	12,84	YFCC 20	12,84	YFCC 20
YFCC 30	11,37	YFCC 30	11,37	YFCC 30
YFCC 40	9,00	YFCC 40	9,00	YFCC 40
YFCC 45	8,31	YFCC 45	8,31	YFCC 45

ETÇ : Eskişehir trası katkılı çimento  
 ZKÇ : Zeolit katkılı çimento  
 NTÇ : Nevşehir tüfü katkılı çimento  
 UKÇ : Uçucu kül katkılı çimento  
 YFCC : Yüksek fırın cürufu katkılı çimento

## II. YÖNTEM

Yapay sinir ağları (YSA), merkezi sinir sisteminin biyolojik yapısının fonksiyonel çıkarımıdır [6]. YSA şaşırtıcı bir şekilde insan beyninin karakteristik özelliklerini göstermektedir. Örneğin, deneyimden öğrenme ve önceki örneklerden genelleştirerek yeni problemler çözmek gibi [7]. YSA üzerindeki ilk çalışmaların 1943 yılında başladığı kabul edilir. YSA kullanımını bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle 1980 yılından sonra daha verimli hale getirilmiştir [8]. Son yıllarda ortaya çıkan teknolojik gelişmelerle YSA inşaat mühendisliği alanında birçok uygulamada başarıyla kullanım alanı bulmuştur. Özellikle, inşaat mühendisliğinde YSA yapısal zararların belirlenmesinde, yapısal sistemlerin tanımlanmasında, malzeme davranışının modellenmesinde, yapısal uygunluğun belirlenmesinde, yapısal kontrolde, yeraltı suyunun izlenmesinde, deneysel sonuçların değerlendirilmesinde ve beton ile harç karışım oranlarının tahmin edilmesinde başarıyla kullanılmaktadır [9]. Bir yapay sinir hücresi girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş ana kısımdan oluşmaktadır. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Toplama fonksiyonu girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar [10]. Girdi bileşenlerindeki ağırlıklar (net)<sub>j</sub> (1) ifadesi kullanılarak hesaplanır [11].

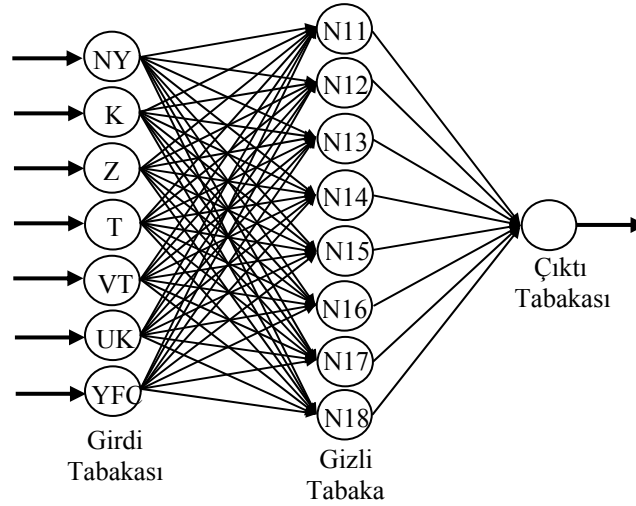
$$(net)_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b \quad (1)$$

Burada;  $(net)_j$ ,  $n$  sinir hücresi ile önceki tabakadan alınan girdinin  $j$ . sinir hücresinin toplam ağırlığı,  $w_{ij}$  önceki tabakadaki  $i$ . sinir hücresi ve  $j$ . sinir hücresi arasındaki ağırlık,  $x_i$  önceki tabakadaki  $i$ . sinir hücresinin çıktısıdır [11].  $b$  içsel katkı olarak sabit bir değeri ifade etmektedir. Aktivasyon fonksiyonu ise toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek hücre çıktısını belirleyen bir fonksiyondur. Genel olarak çok katmanlı algılayıcı modellerde aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılır. Sigmoid

aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanan sinir hücresinin çıktısı Denklem (2) yardımıyla ile hesaplanır.

$$(out)_j = f(net)_j = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(net)_j}} \quad (2)$$

Burada;  $\alpha$  yarı doğrusal bölgenin eğimini kontrol etmek için kullanılan bir sabittir. Sigmoid doğrusal olmayan aktivasyon her tabakayı girdi tabakasından ayırmaktadır ve (0,1) arasında değişen çıktılar verir [11]. Bu çalışmada, çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı ile geri yayılma algoritması seçilmiştir. İleri beslemeli sinir ağları birçok pratik uygulamada en popüler ve en yaygın olarak kullanılan modellerdir. Çok katmanlı tekli doğrusal algılayıcı gibi çok farklı isimlerle bilinir [5]. Geri yayılma algoritması, çok katmanlı tekli doğrusal algılayıcılar için eğitim algoritmalarının en iyilerinden biri olarak bilinen, kısa zamanda ağırlıkları ayarlayarak belirli eğitimin kopyasını çıkarmak için hatayı en düşük seviyeye indiren bir rampa düşüş tekniğidir [12]. Sinir ağı modelinin eğitim ve testinde girdi olarak; numune yaşı (NY), klinker (K), zeolit (Z), tras (T) volkanik tuf (VT), uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) çıktı olarak; harç numunelerinin basınç dayanımları ( $f_c$ ) kullanılmıştır. Deneysel çalışma verilerinden 163 tanesi modelin eğitilmesi için, 81 tanesi de eğitilen modelin testi için kullanılmıştır. Şekil 1'de gösterildiği gibi girdi tabakasında 7 hücreye, gizli tabakasında 8 hücreye ve çıktı tabakasında 1 hücreye sahip bir sinir ağı modeli geliştirilmiştir.



Şekil 1. Yapay sinir ağı modelinde kullanılan sistem.

Eğitim ve test kümelerinin en küçük yüzdeler mutlak hata değerlerinden dolayı, çok katmanlı sinirsel ağı kurulumunda tek gizli tabaka kullanılmıştır. Komşu tabakaların hücreleri ağırlıklarla tam olarak birbirine bağlantılandırılmıştır. Momentum oranı ve öğrenme oranı değerleri bulunarak öğrenme döngüleri ile model eğitilmiştir. Eğitilen model sadece girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA modelinde kullanılan parametre değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile YSA modelinin eğitimi ve testi sırasında oluşabilecek hataları ortaya çıkarmak için karesel ortalamanın kökü (*RMS*) Denklem (3) kullanılarak hesaplanmıştır [13]. Burada *t* hedef değer, *o* çıktı değeri, ve *p* modelde kullanılan numune sayısını ifade etmektedir.

*Çizelge 2. Yapay sinir ağı modelinde kullanılan parametreler*

Parametreler	YSA
Girdi tabakası hücre sayısı	7
Gizli tabaka sayısı	1
Gizli tabakadaki hücre sayısı	8
Çıktı tabakası hücre sayısı	1
Momentum oranı	0,9
Öğrenme oranı	0,7
Eğitim sonrası hata	0,0005
Öğrenme döngüsü	15,000

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_i |t_i - o_i|^2} \quad (3)$$

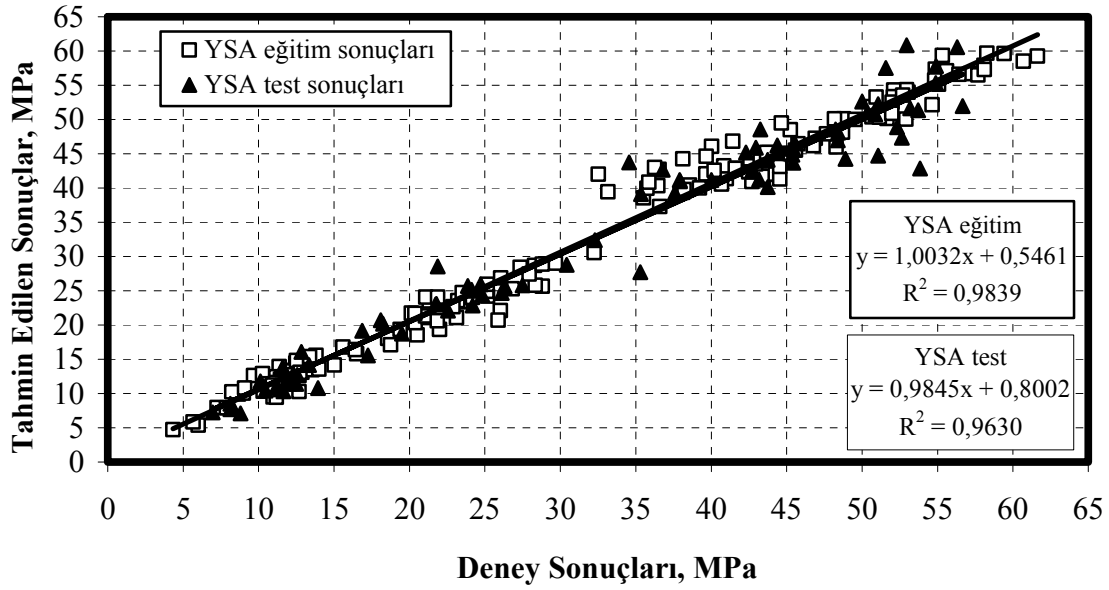
Ayrıca bunlara ek olarak, sırasıyla mutlak kesir varyansı ( $R^2$ ) ve ortalama mutlak yüzdelik hata ( $MAPE$ ) Denklem (4) ve (5) kullanılarak sırasıyla hesaplanmıştır [14].

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_i (t_i - o_i)^2}{\sum_i (o_i)^2} \right) \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{p} \left[ \frac{\sum_i |t_i - o_i|}{\sum_i t_i} \times 100 \right] \quad (5)$$

### III. SONUÇLAR

Deneysel girdi ve çıktı verileri ile modeller eğitildikten sonra testler sadece deneysel girdi verileri kullanılarak yapılmıştır. Eğitim sonrası 2, 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanımlarıyla YSA modelinin test sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde YSA modelinden elde edilen tahmini basınç dayanımlarının deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Deneysel sonuçlar ile kurulan YSA modelinden elde edilen eğitim ve test sonuçları da Şekil 2’de karşılaştırılmıştır. Ayrıca, karşılaştırmadan elde edilen en küçük kareler çizgisi, denklemi ve  $R^2$  değerleri de Şekil 2 üzerinde verilmiştir.



Şekil 2. YSA ile deneysel basınç dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

Sonuçlar incelendiğinde model sonuçlarının deneysel verilere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Korelasyon değerlerinin yüksek çıkması kurulan modelin gerçekliğini ifade etmektedir. Bu ilişki Çizelge 3'te verilen istatistiksel parametrelerden de ( $RMS$ ,  $R^2$  ve  $MAPE$ ) açıkça anlaşılmaktadır. Buna göre iyi şekilde eğitilmiş bir YSA modeli kullanılarak, deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkabilecek hata ya da sapmalardan kaynaklanan olumsuzluklar giderilebilecek hale gelmektedir.

Çizelge 3. Önerilen YSA modellerinin basınç dayanımı istatistiksel değerleri

İstatistiksel parametreler	YSA	
	Eğitim serisi	Test serisi
$RMS$	2,1867	3,1372
$R^2$	0,9962	0,9922
$MAPE$	5,7751	7,3929



#### IV. ÖNERİLER

Farklı puzolanlar kullanılarak üretilen katkılı çimentoların basınç dayanımlarının YSA modeli kullanılarak tahmin edilebileceği, elde edilen istatistiksel parametrelerden açıkça ( $RMS$ ,  $R^2$  ve  $MAPE$ ) görülmektedir. Katkı oranı ve tipine bağlı olarak çimento dayanım sınıfının istenen çimento tipi için önceden belirlenmesi YSA modellemesiyle olasıdır. Böylece çimento üretimi aşamasında standart kür koşullarında saklanan çimento harçlarının basınç dayanımları belirlenerek katkı oranı tasarımı kolaylıkla yapılabilecektir. Ancak burada YSA model yapısının kurulumunda kullanılacak veri sayısının yeterli ve deneysel sonuçların güvenilir olması gerekmektedir. Modelde kullanılan gizili tabaka ve hücre sayısının uygun olarak belirlenmesi elde edilecek sonuçların doğruluğu için önemlidir. Bu şekilde kurulan bir YSA modeli ile farklı çimentoların basınç dayanım sınıfları çok küçük hata oranlarında tahmin edilebilecektir.

#### V. KAYNAKLAR

- [1] C. Shi, "An overview on the activation of reactivity of natural pozzolans," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 28, pp. 778-786, 2001.
- [2] M. Khandaker, A. Hossain, "Blended cement using volcanic ash and pumice," *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 1601-1605, 2003.
- [3] F. Massazza, "Pozzolans and Durability of Concrete", 1<sup>st</sup> International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, 1997, İstanbul, pp. 1-22.
- [4] C. Gervais, S.K. Ouki, "Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time," *Strength and Leaching Characteristics, Journal of Hazardous Materials*, Vol. B93, pp. 187-200, 2002.
- [5] M. Canbaz, "Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların özellikleri", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 206 s., 2007.
- [6] B.B. Adhikary, H. Mutsuyoshi, "Prediction of shear strength of steel fiber RC beams using neural networks," *Construction and Building Materials*, Vol. 20, pp. 801-811, 2006.
- [7] A. Öztaş, M. Pala, E. Özbay, E. Kanca, N. Çağlar, M. Asghar Bhatti, "Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network," *Construction and Building Materials*, Vol. 20, pp. 769-775, 2005.

- [8] İ.B. Topçu, M. Saridemir, "Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural networks and fuzzy logic," *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp. 532-540, 2008.
- [9] A.M. Kewalramani, R. Gupta, "Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks," *Automation in Construction*, Vol. 15, pp. 374-379, 2006.
- [10] J.A. Anderson, "Cognitive and psychological computation with neural models," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 5, pp. 799-814, 1983.
- [11] S.W. Liu, J.H. Huang, J.C. Sung, C.C. Lee, "Detection of cracks using neural networks and computational mechanics," *Computer Methods in Applied Mechanics Engineering*, Vol. 191, pp. 2831-2845, 2002.
- [12] İ.B. Topçu, M. Saridemir, "Prediction of properties of waste AAC aggregate concrete using ANN," *Computational Materials Science*, Vol. 41, pp. 117-125, 2007.
- [13] A. Turatsinze S. Bonnet, J.L. Granju, "Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: improvement in cracking shrinkage resistance," *Construction and Building Materials*, Vol. 21, pp. 176-181, 2007.
- [14] İ.B. Topçu, C. Karakurt, M. Saridemir, "Predicting the strength development of cements with different pozzolans by neural network and fuzzy logic," *Journal of Materials Design*, Vol. 29, pp. 1986-1991, 2008.