ANADOLU ÜNİVERSİTESİ BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ –B
Teorik Bilimler
ANADOLU UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY –B
Theoretical Sciences
Cilt/Vol.: 2-Sayı/No: 1 : 29-44 (2012)

ARAŞTIRMA MAKALESİ /**RESEARCH ARTICLE**

BLOKLANMIŞ İKİ DÜZEYLİ KESİRLİ ÇOK ETKENLİ TASARIMLARDA BLOK YAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Erdinç KOLAY [1], Nazan DANACIOĞLU [2]

ÖZ

Deney tasarımlarında bloklama, sistematik değişimi azaltmak ve etki tahminlerinin doğruluğunu artırmak için kullanılır. 2^q blokta düzenlenen 2^{n-k} tasarımları için en iyi blok yapısının seçimi, en az sapma ve en az moment sapma ölçütlerine göre yapılır. Bu çalışmada, bloklanmış iki düzeyli kesirli çok etkenli tasarımlarda blok yapıları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kesirli çok etkenli tasarımlar, Tanımlayıcı bağıntı alt grubu, Kelime uzunluğu yapısı, En iyi blok yapıları.

COMPARE OF BLOCKED TWO LEVEL FRACTIONAL FACTORIAL DESIGNS

Blocking in desing of experiments is used to increase accuracy of effect estimation and reduce systematic variation. Choice of optimal blocking schemes for 2^{n-k} designs in 2^q blocks based on minimum aberration and minimum moment aberration criterion. In this study, blocking schemes in blocked two level fractional designs were compared.

Keywords: Two-level fractional factorial designs, Defining contrast subgroups, Word length pattern, Optimal blocking schemes.

[1,] Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Anabilim Dalı, 57000, Sinop.
E-posta : ekolay@sinop.edu.tr
[2,] Sinop Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Anabilim Dalı, 57000, Sinop.
E-posta : nazand@sinop.edu.tr

Geliş: 30 Mart 2011; **Düzeltme:** 17 Haziran 2011; **Kabul:** 15 Eylül 2011

1. GİRİŞ

Birden fazla etkenin yanıt değişkeni üzerindeki etkisinin etken düzeylerinin olası tüm kombinasyonlarının denenerek araştırıldığı deneylere çok etkenli deneyler denir. Bu tasarımların en önemli özelliği etkenlerin yanıt değişkeni üzerindeki etkisi hesaplanırken bütün gözlemlerin kullanılması ve etkileşimler hakkında bilgi elde edilmesidir (Montgomery, 1984).

ÇE (çok etkenli) (factorial) tasarımlar deney tasarımında teoride ve pratikte her zaman önemli bir rol oynar. Çünkü ÇE tasarımlar ikiden fazla değişken ile deney yapma imkanı sağlar. Ancak değişken sayısı arttığında ve özellikle denemeler pahalı olduğunda ÇE deneylerle çalışmak zorlaşır. Ekonomik nedenlerle, KÇE (kesirli çok etkenli) (fractional factorial) deneyler yaygın olarak kullanılmaktadır (Mukerjee ve Wu, 2006).

Bloklama, deneylerde genellikle sistematik gürültüyü (systematic noise) kontrol etmek için kullanılır. Böyle gürültüler, günden güne değişim ya da gruptan gruba değişimden meydana gelebilir. Bloklama olmadan sistematik gürültü, etki tahmini etkisini ve tahminin doğruluğunu etkileyebilir. Bloklama, deneydeki denemeleri blok içlerine gruplayarak sistematik varyansı etkili bir şekilde azaltabilir. Blok tasarımında, bloklardan kaynaklanan varyans, denemelerden kaynaklanan varyanstan farklıdır. Bu yüzden bloklama, tahmin edilen deneysel hatanın büyüklüğünü azaltır (Ke, 2007).

KÇE bir deneyin tamamını bir blokta gerçekleştirmek pek çok durumda mümkün değildir. Etki karışımı (confounding); KÇE bir deneyi birden çok blokta oluşturmak için bir tasarım tekniğidir. Böyle bir tasarımda; bloklardaki deneme sayısı, deneme kombinasyonlarının toplam sayısından daha azdır. Ancak bu uygulama, belli deneme etkileri hakkındaki bilginin bloklardan ayırt edilememesine ya da bloklarla karışmasına neden olur (Cochran ve Cox, 1950; Montgomery, 1984).

Hiçbir blok etkisi, ana etki ile karışmayan ana etkilere "yalın ana etki" (clear main effect); hiçbir ana etki ve blok etkisi ile karışmayan etkilere "uygun" (eligible) etki denir. Eğer uygun bir ikili etkileşim diğerikili etkileşimlerle karışmıyorsa bunlara "yalın ikili etkileşim" (clear two factor interaction) denir (Sun vd, 1997).

Toplamda $(2^k - 1)\times(2^q - 1)$ etki blok etkileri ile karışır ve etken etkileri tahmin edilemez.

C1: Hiçbir blok etkisi, ana etki ve ikili etkileşim ile karışmayan ana etki sayısı

$$C2 = \binom{n}{2} - g_2 \tag{1.1}$$

Burada n: deneme sayıs1ı ve g_2: ana etki, blok etkileri ve diğer ikili etkileşimlerle karışan ikili etkileşim sayısıdır (Sun vd., 1997).

Tasarımları bloklara ayırmak, en iyi blok yapısının nasıl belirleneceği sorununu da beraberinde getirmiştir. Bisgaard (1994b), kelime uzunluklarından (word length) hareket ederek en kısa uzunluktaki kelimelere göre tasarımları sıralamışlardır. Sun, Wu ve Chen (1997), iki düzeyli KÇE tasarımlarda bloklama üzerinde çalışmış ve kabul edilebilirlik kavramını (admissibility) öne sürerek en iyi blok yapılarını (optimal blocking schemes) katalog şeklinde sunmuşlardır. Sitter, Chen ve Feder (1997), iki düzeyli KÇE tasarımlarda kesirli çözüm (fractional resolution) ve arıtılmış kelime uzunluklarını (refinement of word lenght) önermiş ve kelime uzunluğu yapısını (word lenght pattern) EAS (en az sapma) (minimum aberration) ölçütüne uyarlayarak en iyi blok yapılarını elde etmeye çalışmışlardır. Chen ve Cheng (1999), tahmin kapasitesine (estimation capacity) göre kelime uzunluğu yapısını oluşturarak en iyi blok yapılarına ulaşmaya çalışmışlardır. Cheng ve Wu (2002), tahmin kapasitesi en yüksek olacak şekilde kelime uzunluğu yapısını tekrar düzenleyerek; Xu (2003), en az moment sapma (minimum moment aberration) kavramını kullanarak en iyi blok yapılarını listelemişlerdir. Xu ve Lau (2006), en az moment sapma kavramını bloklanmış KÇE'ler için genişletmiş ve tasarımları karşılaştırırken bu yöntemi kullanmışlardır. Ke (2007), ikili etkileşimlerin bazıları önemli olduğunda en iyi KÇE blok yapısını seçmek için bir yöntem önermiş, 8 ve 16 denemeli tasarımlarda bazı sonuçlar elde etmiştir.

Bu çalışmada blok TBA (tanımlayıcı bağıntı alt grubu) (block defining contrast subgroup) ve deneme TBA (treatment defining contrast subgroup) kullanılarak farklı yöntemlerle elde edilen kelime uzunluğu yapıları ile en az moment sapmalı tasarımlar incelenecek ve bu yöntemlerle elde edilen en iyi blok yapıları karşılaştırılacaktır.

2. TANIMLAYICI BAĞINTI ALT GRUPLARI

KÇE tasarımlarda, tanımlayıcı üreteçlerden (defining generators) elde edilen gruba deneme TBA; tasarım bloklara ayrılacaksa blok üreteçlerinden (block generators) elde edilen gruba da blok TBA denir. Deneme TBA, hangi deneme etkilerinin birbirleriyle karıştığını gösterirken, blok TBA hangi deneme etkileriyle blok etkilerinin karışacağını gösterir.

2.1 Deneme Tanımlayıcı Bağıntı Alt Grubu

2^{n-k} ile gösterilen bir KÇE tasarımı, k tane deneme tanımlayıcı kelimesi ile belirlenen tamamlanmış bir 2^n ÇE tasarımının 2^{-k} kesri ile oluşturulur. Bu k tane tanımlayıcı kelime ve bunların genelleştirilmiş etkileşimleri (generalized interaction) deneme TBA'yı oluşturur (Wu ve Hamada, 2000).

$$I = W_1 = W_2 = \ldots = W_{2^k - 1} \tag{2.1}$$

ile gösterilen deneme TBA'daki her bir elemana kelime denir. A_i, I'daki i uzunluğundaki kelime sayısı olmak üzere;

$$W_{SWC_t} = (A_1, A_2, \ldots, A_n) \tag{2.2}$$

vektörüne deneme kelime uzunluğu yapısı denir (Sun vd., 1997).

Eğer bağımsız kelimeler $W_1, W_2, \ldots, W_k$, deneme TBA'yı üretiyorsa, bunlara tanımlayıcı üreteçler denir (Cheng vd., 2003).

Etki tahminleri birbirlerinden ayırt edilemeyen etkenlere "eşdeş" denir. Eşdeş yapısı (alias structure), her bir etkenin 2 modülünde (2.1) deki deneme TBA ile çarpılmasıyla elde edilir. Her bir etki 2^{k-1} eşdeşe sahiptir. Yüksek dereceden etkileşimlerin önemsiz olduğu varsayımı, eşdeş yapısını daha basit hale getirir (Montgomery, 1984).

2.2 Blok Tanımlayıcı Bağıntı Alt Grubu

Bir 2^{n-k} KÇE tasarımı 2^q (Burada q blok değişkeni sayısı) blokta düzenlenirken blok etkileri ve genelleştirilmiş etkileşimleri göz önüne alınır. 2^q blokta bir 2^{n-k} KÇE'si için, $(2^q - 1) \times (2^k - 1)$ deneme etkisi bloklarla karışacak şekilde bloklama yapılır. Bloklarla karışacak etkileri gösteren gruba blok TBA denir. KÇE tasarımlarda blok değişkeni seçilirken aşamalı sıra ilkesi (hierarchical assumption) göz önüne alınır (Sun vd., 1997).

Aşamalı sıra ilkesine göre ;

i. Düşük dereceli etkileşimler yüksek dereceli etkileşimlerden daha önemlidir.
ii. Aynı dereceli etkileşimler eşit öneme sahiptir.

q bağımsız blok değişkeni, $B_1, B_2, ..., B_q$, $B_1 = v_1, B_2 = v_2, ... B_q = v_q$ şeklinde gösterilirse v_i 'ler (i =1,2,…,q) ve v_i 'lerin genelleştirilmiş etkileşimleri;

$$v_1v_2, v_1v_3, ..., v_1...v_q$$

B_i ve bunların çarpımları;

$$B_1B_2, B_1B_3, ..., B_1...B_q$$

yoluyla gösterilen $2^q - 1$ blok etkisi ile karışır. O zaman kelimeler $v_i, v_iv_j, ...$ ve bunların birim elemanları (identity element), 2^q genişliğinde bir grup oluşturur (Sun vd., 1997).

$$G_b = (I, v_1, v_2, v_1v_2, v_3, ..., v_q) \tag{2.3}$$

ya da

$$I = v_1, v_2, v_1v_2, v_3, ..., v_1v_2, ..., v_q \tag{2.4}$$

şeklinde gösterilen bu grup blok TBA'dır. Aşamalı sıra ilkesine göre düşük dereceli etkileşimlerin mümkün olduğunca az sayıda blok etkisiyle karışması tercih edilir.

2^{n-k} tasarımını 2^q blokta düzenlemek için (2.1)'de verilen ifadedeki her bir kelimenin (2.4)'teki tüm kelimelerle çarpılmasıyla her bir blok etkisinin hangi deneme etkisi/etkileri ile karıştığı; yani hangi deneme etkisi/etkileri ile eşdeş (alias) olduğu görülebilir.

Blok tasarımı *b* için, $g_i(b)$; G_b'deki i uzunluğundaki kelime sayısı olsun. Deneme etkenlerinin ana etkileri blok etkileri ile karışmayacağı için $g_1(b) = 0$ olmalıdır.

$$W_{SWC_b} = (g_2(b), g_3(b), ..., g_n(b)) \tag{2.5}$$

vektörüne blok kelime uzunluğu yapısı denir ve her zaman $g_1(b) = 0$ olacağından $g_1(b)$, W_{SWC_b} vektöründe gösterilmez (Sun vd., 1997).

Herhangi bir G_b için tüm 2^q-1 blok etkisi eşit öneme sahip olarak düşünülürse, q üretecin seçiminde sorun yoktur. Diğer durumlarda blok değişkenleri arasındaki etkileşim olarak tanımlanan genelleştirilmiş blok etkilerinin, $B_{i1}, ..., B_{ij}$, yorumlanması zor olacağından, $B_{i1}, ..., B_{ij}$ etkilerinin, $B_1, B_2, ..., B_q$'den daha az önemli olduğu söylenebilir.

Örneğin B_1, iki farklı üretici ve B_2, gündüz veya gece vardiyası olabilir. Bu durumda, $B_1 \times B_2$ etkileşimini anlamlandırmak zordur ve B_1, B_2'nin, $B_1 \times B_2$'den daha önemli olduğunu söylemek mümkündür. Eğer blok etkileri $B_1, B_2, ..., B_q$, blok etkileşimlerinden önemli ise, blok üreteçleri olarak, mümkün olan en uzun kelimeler $B_1, B_2, ..., B_q$'ya atanmalıdır (Cheng vd.,2003).

3. EN AZ SAPMA ÖLÇÜTÜ VE KELİME UZUNLUĞU YAPILARI

Deneme TBA'daki en kısa kelime uzunluğu r ise tasarımın çözümü r'dir. Bir çözüm r tasarımında hiçbir k etkenli etkileşim (r-k)'dan daha az etken içeren etki ile karışmaz. Tasarımın çözümü yükseldikçe etkilerin birbirinden daha iyi ayırt edilebildiği tasarımlar oluşacaktır. Yani yüksek çözümlü tasarımlar daha iyidir (Box vd.,1978).

Olası en yüksek çözüme sahip bir tasarım, seçilebilecek en iyi tasarımdır; ancak, aynı çözüme sahip olmasına rağmen farklı eşdeş yapısına sahip tasarımların seçimi, EAS ölçütüne göre yapılır.

d_1 ve d_2 herhangi iki KÇE tasarım olsun. A_i; (2.2)'de verilen W_{SWC_t}'deki i uzunluğundaki kelime sayısıdır. $A_r(d_1) \neq A_r(d_2)$'yi sağlayan en küçük değer r'dir. Eğer $A_r(d_1) < A_r(d_2)$ ise d_1 tasarımı, d_2 tasarımından daha az sapmaya sahiptir ve d_1 tasarımından daha az sapmalı tasarım yoksa d_1 tasarımına EAS'lı tasarım denir (Fries ve Hunter,1980).

Bloklara ayrılmış KÇE tasarımlar söz konusu olduğunda, EAS ölçütünü uygulamak için farklı kelime uzunluğu yapıları geliştirilmiştir.

Bir tasarımın en iyi blok yapısı olup olmadığını bulmak için genellikle deneme ve blok kelime uzunluğu yapıları kullanılır. Kelime uzunluğu yapısı kullanılarak tasarımları sıralamakta kullanılan en yaygın ölçüt EAS ölçütüdür.

Bisgaard (1994b), deneme TBA ile blok TBA'yı birleştirerek tek bir TBA üzerinden çalışmanın daha kolay olduğunu savunmuştur. Kelime uzunluğu yapısındaki blok ana etkisi veya blok etkileşimlerini içeren kelimelerin tek bir kelime gibi düşünülmesi gerektiğini öne sürmüştür. Tek bir TBA oluşturulurken tasarımın üreteci ve blok üretici olan kelimeler ile bu kelimelerin genelleştirilmiş etkileşimleri kullanılır.

Örnek 1. SWC (1997,p.302) katalogundan E=ABC, F=ABD, G=ACD üreteçli ve *b*=BCD blok değişkenli 2^{7-3} KÇE tasarımı d_1 ve E=ABC, F=ABD, G=ACD üreteçli, *b*=AB blok değişkenli 2^{7-3} KÇE tasarımı d_2 olsun.

Bisgaard (1994b)'a göre d_1 ve d_2 tasarımının TBA'ları sırasıyla (3.1) ve (3.2)'deki gibidir. (3.1)'de verilen d_1 tasarımına ait Bisgaard (1994b)'ın TBA'sı bulunurken tüm ABCE, ABDF, ACDG ve BCD*b* etkenleri ile bunların çarpımlarının tüm kombinasyonlarının elde edilmesi gerekir. Aynı şekilde d_2 tasarımının TBA'sı bulunurken ABCE, ABDF, ACDG ve AB*b* kelimeleri ve bunların çarpımları kullanılır.

I_1=ABCE=ABDF=ACDG=BCD*b*=*CDEF*=BDEG=ADE*b*=BCFG=ACF*b*=ABG*b*=AEFG=BEF b=CEG*b*=DFG*b*=ABCDEFG*b* (3.1)

I_2=ABCE=ABDF=ACDG=AB*b*=CDEF=BDEG=CE*b*=BCFG=DF*b*=BCDG*b*=AEFG= ABCDEFb=ADEG*b*=ACFG*b*=BEFG*b* (3.2)

(3.1)'de elde edilen d_1 tasarımının TBA'sında en kısa kelime uzunluğu 4, (3.2)'de verilen d_2 tasarımının TBA'sında en kısa kelime uzunluğu 3'tür.

İki tasarımın TBA'ları Bisgaard (1994b)'a göre yorumlanırsa, d_1 tasarımı, d_2 tasarımından daha az sapmalıdır. Çünkü d_2 tasarımının TBA'sında en kısa kelime uzunluğu 3, dolayısıyla çözümü III; d_1 tasarımının ise 4'tür.

3.1 Sun, Wu ve Chen (1997) Kabul Edilebilir Blok Yapısı

Sun, Wu ve Chen (1997) (SWC), dene-me TBA ve blok TBA'ları kullanmış, tasarımların yalın ana etki ve yalın ikili etkileşim sayılarını bularak, kabul edilebilirlik kavramı altında en iyi blok yapılarını listelemişlerdir. Kabul edilebilirlik kavramını tanımlamak için; (2.5)'te verilen W_{SWC_b}, (2.2)'de verilen W_{SWC_t}, yalın ana etki sayısı C1 ve yalın ikili etkileşim sayısı C2 (Bkz. (1.1)) olmak üzere 4 ölçüt kullanmışlardır. SWC kabul edilebilirlik kavramına göre, 4 ölçütün hepsi için d_1'den daha iyi ya da denk bir d_2 tasarımı varsa ve 4 ölçütün en az birinde, d_2 d_1'den kesinlikle daha iyiyse, d_1 kabul edilemez (inadmissible) bir tasarımdır. Aksi takdirde, kabul edilebilirdir.

Örnek 1.'de verilen tasarımlar SWC yöntemiyle karşılaştırılsın.

d_1 ve d_2 tasarımları aynı üreteçlere sahip olduğundan deneme TBA'ları (3.3)'deki gibidir.

I=ABCE=ABDF=ACDG

ve bunların 4 tane genelleştirilmiş etkileşimleri CDEF=BDEG=BCFG=AEFG de TBA'da yer alır.

$$I=ABCE=ABDF=ACDG=CDEF=BDEG=BCFG=AEFG \qquad (3.3)$$

Deneme TBA'da yer alan tüm kelimeler dört uzunluğundadır. O halde deneme kelime uzunluğu yapısı (3.4)'deki gibidir.

$$W_{SWC_t}=(0,0,7,0) \qquad (3.4)$$

d_1 tasarımı için b=BCD'dir. Buradan, bloklarla karışan deneme etkileri (3.3)'deki her kelimenin BCDb ile çarpılmasından elde edilir. Bloklarla karışan deneme etkileri (3.5)'de verilmiştir.

$$BCDb=ADEb=ACFb=ABGb=BEFb=CEGb=BFGb=ABCDEFGb \qquad (3.5)$$

d_2 tasarımı için b=AB'dir. Bloklarla karışacak deneme etkileri;

$$\begin{aligned} &ABb = CEb = DFb = BCDGb = ABCDEFb \\ &= ADEGb = ACFGb = BEFGb \end{aligned} \qquad (3.6)$$

(3.5) ve (3.6)'dan yararlanarak iki tasarımın blok kelime uzunluğu yapıları

$$d_1 : W_{SWC_b}=(0,7,0,0,0,1)$$
$$d_2 : W_{SWC_b}=(3,0,4,0,1,0)$$

şeklindedir.

SWC'nin kabul edilebilir tasarımlar için kullandığı dört ölçütten ikisi elde edilmiştir. Şimdi yalın ana etki ve yalın ikili etkileşimler bulunsun.

Deneme TBA dikkate alınarak eşdeş yapısı oluşturulduğunda, hangi deneme etkilerinin eşdeş olduğu görülebilir ve yalın etki olup olmadığına karar verilebilir. (3.3)'deki deneme TBA kullanılarak oluşturulan eşdeş yapısı Çizelge 3.1'de verilmiştir. İki tasarımın üreteçleri aynı olduğundan eşdeş yapıları da aynı olacaktır.

Çizelge 3.1 Eşdeş yapısı

A=BCE=BDF=CDG=EFG=ABCFG=ABDEG=ACDEF	AB=CE=DF=ACFG=ADEG=BCDG=BEFG=ABCDEF
B=ACE=ADF=CFG=DEG=ABCDG=ABEFG=BCDEF	AC=BE=DG=ABFG=ADEF=BCDF=CEFG=ABCDEG
C=ABE=ADG=BFG=DEF=ABCDF=ACEFG=BCDEG	AD=BF=CG=ABEG=ACEF=BCDE=DEFG=ABCDFG
D=ABF=ACG=BEG=CEF=ABCDE=ADEFG=BCDFG	AE=BC=FG=ABDG=ACDF=BDEF=CDEG=ABCEFG
E=ABC=AFG=BDG=CDF=ABDEF=ACDEG=BCEFG	AF=BD=EG=ABCG=ACDE=BCEF=CDFG=ABDEFG
F=ABD=AEG=BCG=CDE=ABCEF=ACDFG=BCEFG	AG=CD=EF=ABCF=ABDE=BCEG=BDFG=ACDEFG
G=ACD=AEF=BCF=BDE=ABCEFG=ABDFG=CDEFG	BG=CF=DF=ABCD=ABEF=ACEG=ADFG=BCDEFG

Çizelge 3.1'e bakarak ana etkilerin 3 ve daha yüksek dereceli etkileşimlerle karıştığı ve tüm ikili etkileşimlerin eşdeş olduğu görülebilir. Bu nedenle yalın ana etki sayısı 7 ve yalın ikili etkileşim sayısı (1.1)'den, C2= $\binom{7}{2}$- 42= 0 olarak elde edilir.

3.2 Sitter, Chen ve Feder (1997) Arıtılmış Kelime Uzunluğu Yapısı

Sitter, Chen ve Feder (1997) (SCF), yaptıkları çalışmada Bisgaard (1994b)'ın TBA'sını kullanmışlardır. Kelime uzunluğu yapısında yenileme yaparak TBA'da blok değişkeni içeren kelimelere 1,5 eklemeyi önermişler ve bu sayede buçuklu kelime uzunluğu ve buçuklu çözümü sunmuşlardır. SCF'nin yöntemine göre TBA'daki kelime uzunlukları;

$$\#c_i + 1.5 I_{[\#bi \geq 1]} \tag{3.7}$$

şeklinde bulunur. Burada # c_i ve # b_i ; sırasıyla deneme ve blok etkileri sayısını gösterir ve $I_{[\cdot]}$, [.] şartının doğru olup olmadığına göre 1 veya 0 değerini alan gösterge fonksiyonudur (indicator function). Bu sayede buçuklu kelime uzunluğu yapısına ulaşılır ve tasarımları sıralamada bu yöntem kullanılır (Sitter vd.,1997).

SCF, $I = ABCb$ gibi TBA'ya sahip bir tasarımdaki kelime uzunluğunu aşağıdaki şekilde bulur.

$\#c_i$: deneme etkeni sayısı. ABC; 3 deneme etkeni içerdiğinden, $\#c_i$ = 3'tür.

b_i : blok etkeni sayısı. b tek bir blok etkeni olduğundan, # b_i = 1'dir.

$I_{[\#bi \geq 1]}$; $[\#b_i \geq 1]$ doğru ise 1, yanlış ise 0 değerini alan fonksiyondur ve # b_i = 1 olduğundan $I_{[\#bi \geq 1]}$ = 1'dir.

Kelime uzunluğu;

c_i + 1.5 $I_{[\#bi \geq 1]}$ = 3+1,5×1 = 4,5 olarak bulunur.

Buna bağlı olarak kelime uzunlukları küçükten büyüğe doğru sırasıyla *ttt* = *ttb* = *tttt* = *tttb* = *ttttt* = *ttttb* = *tttttt* = ... şeklinde verilir. Burada "= " işaretinin anlamı "daha az istenen" demektir. Ek olarak t deneme etkilerini ve b blok etkilerini gösterir (Sitter vd., 1997).

Örneğin; *ttb,* AB*b* , *tttt* ABCD, *tttb* CDE*b* vb. olabilir. Buna göre SCF'nin kelime uzunluğu yapısı

$$W_{SCF} = (l_{3.0}, l_{3.5}, l_{4.0}, \ldots, l_{n+1.5}) \tag{3.8}$$

Burada l_i, TBA'daki i uzunluğundaki kelime sayısını göstermektedir (Sitter vd,. 1997).

Örnek 1.'de verilen tasarımlar SCF yöntemiyle karşılaştırılsın.

d_1 ve d_2 tasarımları için SCF'nin TBA'sı, Bisgaard (1994b)'ınki ile aynıdır (Bkz. (3.1) ve (3.2)). (3.1) ve (3.2)'de verilen TBA'lar (3.7)'deki ölçüte göre yeniden düzenlenirse, (3.9)'daki kelime uzunluğu yapılarına ulaşılabilir.

$$W_{SCF}(d_1)=(0,0,7,7,0,0,0,0,0,1,0,0) \quad (3.9)$$

$$W_{SCF}(d_2)=(0,3,7,0,0,4,0,0,0,1,0,0)$$

Buna göre d_1 tasarımı, d_2 tasarımından daha az sapmalıdır. Çünkü d_1 tasarımında en kısa kelime uzunluğu 4 iken ((3.8)'den $l_{4.0}=7$) d_2 tasarımında en kısa kelime uzunluğu 3,5 ((3.8)'den $l_{3.5}=3$) olarak hesaplanmıştır (Sitter vd., 1997).

3.3 Chen ve Cheng (1999)'in Tahmin Kapasitesine Göre Kelime Uzunluğu Yapısı

Chen ve Cheng (1999) (CC), kelime uzunluğu yapısını oluştururken, SCF'nin kelime uzunluğu yapısının Kesim 2'de açıklanan aşamalı sıra ilkesine uymadığını ve *ttttb* = *ttttt* sıralamasının yanlış yapıldığını savunmuşlardır.

(3.8)'den 5,5 uzunluğunda olan $A_{4,1}$, 6 uzunluğunda olan $A_{6,0}$'dan daha az istenen durumdur. Ancak $A_{6,0}$ sıfırdan farklıysa bazı üçlü etkileşimler diğer üçlü etkileşimlerle karışır; CC'ye göre $A_{4,1}$ sıfırdan farklıysa daha az önemli olan dörtlü etkileşim bloklarla karışır. Bu yüzden $A_{6,0}$, $A_{4,1}$'den daha az istenen olmalıdır. Bu nedenle SCF'nin sıralaması Chen ve Cheng'e göre daha az istenen olmalıdır

$$W_{CC}(D)=(A_{3,0}(D),A_{2,1}(D),A_{4,0}(D),A_{5,0}(D),A_{3,1}(D),A_{6,0}(D),A_{7,0}(D),A_{4,1}(D),...) \quad (3.10)$$

Bu nedenle CC, en iyi blok yapısını bulmak için, (3.10)'da verilen kelime uzunluğu yapısını kullanmış; kelime uzunluklarını SCF gibi buçuklu vermemiştir. CC, kelime uzunluğu yapısını tahmin kapasitesi en yüksek olacak şekilde vermiştir.

Tahmin kapasitesi; düşük dereceli etkileşimlerin, mümkün olduğunca az sayıda yüksek dereceli etkileşimlerle ya da blok etkileriyle karışmasıdır. Yani tahmin kapasitesine göre tahmin edilebilen düşük dereceli etkileşim sayısı en yüksek olmalıdır (Chen ve Cheng, 1999).

Örnek 1.'de verilen tasarımlar CC'nin yöntemine göre karşılaştırılsın. d_1 tasarımının TBA'sı (3.1)'de ve d_2 tasarımının TBA'sı (3.2)'de verilmiştir. Buna göre CC'nin kelime uzunluğu yapıları (3.10)'dan

$$W_{CC}(d_1)=(0,0,7,0,7,0,0,0,...)$$

$$W_{CC}(d_2)=(0,3,7,0,0,0,4,0,...)$$

şeklindedir ve d_1 tasarımının, d_2 tasarımından daha az sapmalı olduğu söylenebilir. Çünkü d_2 tasarımında 3 tane ikili etkileşim blok etkileri ile karışırken ($A_{2.1}$ = 3) , d_1 tasarımında herhangi bir ikili etkileşim blok etkisi ile karışmamıştır ($A_{2.1} = 0$).

3.4 Cheng ve Wu (2002) Arıtılmış Tahmin Kapasitesine Göre Kelime Uzunluğu Yapısı

Cheng ve Wu (2002) (CW), kelime uzunluğu yapısını oluştururken CC'nin yöntemi üzerinden hareket etmiş ve SCF'nin ve CC'nin yöntemlerinin tahmin kapasitesi bakımından yetersiz olduğunu öne sürmüşlerdir. CW'ye göre $A_{4,0}$, $A_{2,1}$'den daha az istenen bir durumdur. Çünkü $A_{2,1}$'de yalnızca bir ikili etkileşim bloklarla karışırken $A_{4,0}$'da bu sayı daha fazladır. Aynı kıyaslama $A_{6,0}$ ile $A_{3,1}$ arasında da yapılabilir. CW'ye göre en yüksek tahmin kapasitesine sahip olan kelime uzunluğu yapısı

$$W_{CW}(D) = (A_{3,0}(D), A_{4,0}(D), A_{2,1}(D), A_{5,0}(D), A_{6,0}(D), A_{3,1}(D)....) \tag{3.11}$$

olarak elde edilir (Cheng ve Wu, 2002).

CW'nin yöntemine göre Örnek 1'deki tasarımlar karşılaştırmak istensin. d_1 tasarımının TBA'sı (3.1)'de ve d_2 tasarımının TBA'sı (3.2)'de verilmiştir. (3.11)'deki kelime uzunluğu yapısı uygulanarak iki tasarımın CW'ye göre kelime uzunluğu yapıları;

$$W_{CW}(d_1) = (\ 0,7,0,0,0,7,0,0,0,0\ )$$

$$W_{CW}(d_2) = (\ 0,7,3,0,0,0,0,0,4,0\ )$$

olarak elde edilir. Buradan d_1 tasarımında $A_{2,1}$=0 iken, d_2 tasarımında $A_{2,1}$=3 olduğundan, d_1 d_2'den daha az sapmaya sahiptir.

4. EN AZ MOMENT SAPMA

Xu ve Lau (2006), tasarımları karşılaştırırken TBA kullanmak yerine en az moment sapma ölçütünü kullanmışlar, $A_{i,0}$ ve $A_{i,1}$ kelime uzunlukları yerine sırasıyla $K_{t,0}$ ve $K_{t,1}$ kuvvet momentlerini koymuşlardır.

N denemeli ve n etkenli tasarım için $X = (x_{ik})$, $N \times n$ deneme matrisi olsun. Burada her satır denemelere ve her sütun etkenlere karşılık gelir. Pozitif t tamsayısı için, kuvvet momenti (power moments);

$$K_{t,0} = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} [\delta_0(x_i)]^t \tag{4.1}$$

Burada x_i; X matrisinin i. satırı, $\delta_0(x_i)$; x_i'deki 0'ların sayısı ve $N = 2^{n-k}$'dır.

Kuvvet momenti $K_{t,0}$ denemeler (satırlar) arasındaki benzerliği (similarity) ölçtüğünden, iyi bir tasarım küçük kuvvet momentine sahip olmalıdır. $K_{t,0}$ ne kadar küçük olursa, tasarım o kadar iyi olur. Xu (2003), sırasıyla $K_{1,0}, K_{2,0}, ..., K_{n,0}$ en küçük yapan "en az moment sapma" ölçütünü önermiştir.

Xu ve Lau (2006)'ya göre $K_{1,0}, K_{2,0}, \ldots, K_{n,0}$'ı en küçük yapmak $A_{1,0}, A_{2,0}, \ldots, A_{n,0}$'ı en küçük yapmak ile aynıdır. Bu nedenle en az moment sapması ile EAS aynıdır.

2^q blokta 2^{n-k} KÇE tasarımı incelensin. $N = 2^{n-k}$ olmak üzere X, $N \times n$ deneme matrisi; Y, q bağımsız blok tanımlayıcı kelimeleri gösteren matris olsun. Pozitif t tamsayısı için, kuvvet momenti;

$$K_{t,1} = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} [\delta_0(x_i)]^t \delta_b(y_i) \tag{4.2}$$

dir. Burada x_i ve y_i, sırasıyla X ve Y'nin i. satırları, $\delta_0(x_i)$; x_i'deki 0'ların sayısı ve

$$\delta_b(y_i) = \begin{cases} n_q = (s^q - 1)/(s-1) & y_i,\ 0'\textit{ların vektörü ise} \\ n_q - s^{q-1} & d.d. \end{cases} \tag{4.3}$$

$\delta_b(y_i)$, blok etkileri ve bunların genelleştirilmiş etkileşimlerinin yer aldığı $N \times n_q$ matrisindeki blok etkilerini gösteren sütunlardaki 0 sayısıdır (Xu ve Lau, 2006).

Xu ve Lau (2006), (3.8), (3.10), (3.11) 'de verilen kelime uzunluğu yapılarının (4.4)'deki gibi yazılabileceğini ve

i) $K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{3,1}, K_{5,0}, K_{4,1}, \ldots$'yı en küçük yapmakla sırasıyla $A_{3,0}, A_{2,1}, A_{4,0}, A_{3,1}, A_{5,0}, A_{4,1} \ldots$'i en küçük yapmanın;

ii) $K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{5,0}, K_{3,1}, K_{6,0}, \ldots$'ı en küçük yapmakla sırasıyla $A_{3,0}, A_{2,1}, A_{4,0}, A_{5,0}, A_{3,1}, A_{6,0}, \ldots$'ı en küçük yapmanın;

iii) $K_{3,0}, K_{4,0}, K_{2,1}, K_{5,0}, K_{6,0}, K_{3,1}, \ldots$'i en küçük yapmakla sırasıyla $A_{3,0}, A_{4,0}, A_{2,1}, A_{5,0}, A_{6,0}, A_{3,1} \ldots$'ı en küçük yapmanın aynı olduğunu belirtmişlerdir.

$$\begin{aligned} \hat{W}_{SCF} &= (K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{3,1}, K_{5,0}, K_{4,1}, \ldots), \\ \hat{W}_{CC} &= (K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{5,0}, K_{3,1}, K_{6,0}, \ldots), \\ \hat{W}_{CW} &= (K_{3,0}, K_{4,0}, K_{2,1}, K_{5,0}, K_{6,0}, K_{3,1}, \ldots), \end{aligned} \tag{4.4}$$

$K_{i,1}$, $\hat{W}_{SCF}$'de $K_{i+1,0}$'dan sonra, $\hat{W}_{CW}$'de K_{2i}'den sonra $\hat{W}_{CC}$'de $K_{2i-1,0}$'dan sonra gelir.

(4.4)'te verilen kelime uzunluğu yapıları sırasıyla W_{SCF}, W_{CW} ve W_{CC} kelime uzunluğu yapılarında yer alan kelime uzunluklarıdır. En az moment sapma ölçütünde kuvvet momentlerinin nasıl bulunduğu bir örnek üzerinde incelensin.

Örnek 2. SWC (1997,p.302) katalog-undan 2^{6-2} KÇE tasarımı 2^2 blokta E=AB, F=ACD ve b_1=BD, b_2=ABCD incelensin. Çizelge 4.1'de X tasarım matrisi ve X'den elde edilen $\delta_0(x_i)$ değerleri ve Y blok matrisi ile Y'den (4.3) kullanılarak elde edilen $\delta_b(y_i)$ değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.1 En az moment sapma ölçütünün incelenmesi

X						Y		$\delta_0(x_i)$	$\delta_b(y_i)$
A	B	C	D	E=AB	F=ACD	b_1=BD	b_2=ABCD		
0	0	0	0	1	0	1	1	5	1
1	0	0	0	0	1	1	0	4	1
0	1	0	0	0	0	0	0	5	3
1	1	0	0	1	1	0	1	2	1
0	0	1	0	1	1	1	0	3	1
1	0	1	0	0	0	1	1	4	1
0	1	1	0	0	1	0	1	3	1
1	1	1	0	1	0	0	0	2	3
0	0	0	1	1	1	0	0	3	3
1	0	0	1	0	0	0	1	4	1
0	1	0	1	0	1	1	1	3	1
1	1	0	1	1	0	1	0	2	1
0	0	1	1	1	0	0	1	3	1
1	0	1	1	0	1	0	0	2	3
0	1	1	1	0	0	1	0	3	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

(4.1)'den

$$K_{1,0} = N^{-1}\sum_{i=1}^{n}[\delta_0(x_i)]^1 = 16^{-1}(5+4+5+0) = \frac{48}{16} = 3$$

$$K_{2,0} = 10.5\,, K_{3,0} = 39.75\ K_{4,0} = 160.5, K_{5,0} = 681.75, K_{6,0} = 3010.5$$

elde edilir. (4.2) yardımıyla da;

$$K_{1,1} = N^{-1}\sum_{i=1}^{n}[\delta_0(x_i)]^1\delta_b(y_i) = 16^{-1}(5.3+4.1$$

$$+5.3+...+0.1) = \frac{72}{16} = 4.5$$

$$K_{2,1} = 15,75,\ K_{3,1} = 60,75\ K_{4,1} = 252.75,\ \mathrm{K}_{5,1} = 1110,75,\ \mathrm{K}_{6,1} = 5070,75$$

elde edilir.

2^{6-2} KÇE tasarımı E=AB, F=ACD üreteçleri ile 2^2 blokta ($b_1 = BD$ ve $b_2 = ABCD$) düzenlenmiş ve kuvvet momentleri elde edilmiştir. İki tasarım için en az moment sapma ölçütünün karşılaştırılması Kesim 5'te açıklanmıştır.

5. KELİME UZUNLUĞU YAPILARI VE EN AZ MOMENT SAPMA ÖLÇÜTÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI

d_1, F= ABC, G=ABDE üreteçleri ile $b_1 = ACE$, $b_2 = BCDE$ blok üreteçlerine sahip ve d_2, F=ABC, G=ABD üreteçleri ile $b_1 = ABE$, $b_2 = BCDE$ blok üreteçlerine sahip 4 blokta düzenlenen 2^{7-2} tasarımları olsun. Tüm yöntemler kullanılarak bu iki tasarım karşılaştırılmak istensin.

d_1 ve d_2 tasarımları için TBA'lar sırasıyla (5.1) ve (5.2)'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} I_1 &= ABCF = ABDEG = CDEFG \\ &= ACEb_1 = BEFb_1 = BCDGb_1 = ADFGb_1 \\ &= BCDEb_2 = ADEFb_2 = ACGb_2 = BFGb_2 \\ &= ABDb_1b_2 = CDFb_1b_2 = EGb_1b_2 = ABCEFGb_1b_2 \end{aligned} \tag{5.1}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= ABCF = ABDG = CDFG \\ &= ABEb_1 = CEFb_1 = DEGb_1 = ABCDEFGb_1 \\ &= BCDEb_2 = ADEFb_2 = ACEGb_2 = BEFGb_2 \\ &= ACDb_1b_2 = BDFb_1b_2 = BCGb_1b_2 = AFGb_1b_2 \end{aligned} \tag{5.2}$$

Çizelge 5.1'de d_1 ve d_2 tasarımlarının eşdeş yapıları, yalın ana etki ve yalın ikili etkileşim sayıları gösterilmektedir (Bkz. (1.1)).

Çizelge 5.2'de sırasıyla (2.1), (2.5), (3.8), (3.10), (3.11) elde edilen kelime uzunluğu yapıları verilmektedir.

SWC'ye göre daha fazla düşük dereceli etkileşimin tahmin edilebildiği d_1 tasarımı, d_2'den daha iyi bir tasarımdır. d_1 tasarımı için 4 uzunluğunda tahmin edilemeyen etki sayısı 1 ($A_{4,0} = 1$) iken, d_2 için bu sayı 3'tür ($A_{4,0} = 3$).

SCF yöntemine göre d_2 tasarımı d_1 tasarımından daha iyidir. Çünkü d_1 tas-arımında $A_{2,1} = 1$ iken d_2 tasarımında $A_{2,1} = 0$'dır. d_1 tasarımında 3.5 uzun-luğunda bir kelime tahmin edilemediğinden, d_2 tasarımı daha iyi bir tasarımdır.

CC'nin yöntemine göre de d_2 tasarımı daha iyi bir tasarımdır. Çünkü d_1 tasarımında $A_{2,1} = 1$ iken d_2 tasarımında $A_{2,1} = 0$'dır.

CW'ye göre bu iki tasarım karşılaştırıldığında ise d_1 tasarımı d_2 tasarımından daha az sapmalıdır. Çünkü $A_{4,0}$, d_1 tasarımı için 1, d_2 tasarımı için ise 3'tür.

Tüm kelime uzunluğu yapılarına göre tasarımlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda SWC ve CW yöntemlerine göre d_1, SCF ve CC yöntemlerine göre ise d_2 tasarımı daha az sapmalı bulunmuştur.

Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te en az moment sapma ölçütüne göre incelenen d_1 ve d_2 tasarımları verilmektedir. Burada A-G arası sütunlar X deneme matrisini, $b_1 - b_2$ Y blok matrisini, $\delta_0(x_i)$, x_i 'deki 0'ların sayısını göstermektedir. $\delta_b(y_i)$ değeri ise (4.3)'den bulunan değerdir.

Çizelge 5.1 d_1 ve d_2 tasarımlarının eşdeş yapıları

d_1	d_2
A = BCF = BDEG = ACDEFG	*A = BCF = BDG = ACDFG*
B = ACF = ADEG = BCDEFG	*B = ACF = ADG = BCDFG*
C = ABF = DEFG = ABCDEG	*C = ABF = DFG = ABCDG*
D = ABEG = CEFG = ABCDF	*D = ABG = CFG = ABCDF*
E = ABDG = CDFG = ABCEF	*E = ABCEF = ABDEG = CDEFG*
F = ABC = CDEG = ABDEFG	*F = ABC = CDG = ABDFG*
G = ABDE = CDEF = ABCFG	*G = ABD = CDF = ABCFG*
AB = CF = DEG = ABCDEFG	*AB = CF = DG = ABCDFG*
AC = BF = ADEFG = BCDEG	*AC = BF = ADFG = BCDG*
AD = BEG = BCDF = ACEFG	*AD = BG = ACFG = BCDF*
AE = BDG = BCEF = ACDFG	*AE = BCEF = BDEG = ACDEFG*
AF = BC = ACDEG = BDEFG	*AF = BC = ACDG = BDFG*
AG = BDE = BCFG = ACDEF	*AG = BD = ACDF = BCFG*
BD = AEG = ACDF = BCEFG	*BE = ACEF = ADEG = BCDEFG*
BE = ADG = ACEF = BCDFG	*CD = FG = ABCG = ABDF*
BG = ADE = ACFG = BCDEF	*CE = ABEF = DEFG = ABCDEG*
CD = EFG = ABDF = ABCEG	*CG = DF = ABCD = ABFG*
CE = DFG = ABEF = ABCDG	*DE = ABEG = CEFG = ABCDEF*
CG = DEF = ABFG = ABCDE	*EF = ABCE = CDEG = ABDEFG*
DE = ABG = CFG = ABCDEF	*EG = ABDE = CDEF = ABCEFG*
DF = CEG = ABCD = ABEFG	*ACE = BEF = ADEFG = BCDEG*
DG = ABE = CEF = ABCDFG	*ACG = ADF = BCD = BFG*
EF = CDG = ABCE = ABDFG	*ADE = BEG = ACEFG = BCDEF*
FG = CDE = ABCG = ABDEF	*AEF = BCE = ACDEG = BDEFG*
ACD = BDF = AEFG = BCEG	*AEG = BDE = ACDEF = BCEFG*
ADF = BCD = ACEG = BEFG	*CDE = EFG = ABCEG = ABDEF*
AEF = BCE = ACDG = BDFG	*CEG = DEF = ABCDE = ABEFG*
AFG = BCG = ACDE = BDEF	*ACDE = AEFG = BCEG = BDEF*
C1=7 C2=14	*C1=7 C2=6*

Çizelge 5.2 Kelime uzunluğu yapılarına göre d_1 ve d_2 tasarımları

d_1	d_2
$W_{SWC_t} = (0,1,2,0,0)$	$W_{SWC_t} = (0,3,0,0,0)$
$W_{SWC_b} = (1,6,4,0,1,0)$	$W_{SWC_b} = (0,7,4,0,0,1)$
$W_{SCF} = (0,1,1,6,2,4,0,0,...)$	$W_{SCF} = (0,0,3,7,0,4,0,0,...)$
$W_{CC} = (0,1,1,2,6,0,0,4,...)$	$W_{CC} = (0,0,3,0,7,0,0,4,...)$
$W_{CW} = (0,1,1,2,0,6,0,0,4,...)$	$W_{CW} = (0,3,0,0,0,7,0,0,4,...)$

Çizelge 5.3 2^2 blokta 2^{7-2} d_1 tasarımı

Deneme	A	B	C	D	E	F=ABC	G=ABD	$b_1 = ABE$	$b_2 = BCDE$	$\delta_0(x_i)$	$\delta_b(y_i)$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1
2	1	0	0	0	0	1	1	1	1	4	1
3	0	1	0	0	0	1	1	1	0	4	1
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	5	3
5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	5	3
6	1	0	1	0	0	0	1	1	0	4	1
7	0	1	1	0	0	0	1	1	1	4	1
8	1	1	1	0	0	1	0	0	1	3	1
9	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	3
10	1	0	0	1	0	1	0	1	0	4	1
11	0	1	0	1	0	1	0	1	1	4	1
12	1	1	0	1	0	0	1	0	1	3	1
13	0	0	1	1	0	1	1	0	1	3	1
14	1	0	1	1	0	0	0	1	1	4	1
15	0	1	1	1	0	0	0	1	0	4	1
16	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	3
17	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6	1
18	1	0	0	0	1	1	1	0	0	3	3
19	0	1	0	0	1	1	1	0	1	3	1
20	1	1	0	0	1	0	0	1	1	4	1
21	0	0	1	0	1	1	0	1	1	4	1
22	1	0	1	0	1	0	1	0	1	3	1
23	0	1	1	0	1	0	1	0	0	3	3
24	1	1	1	0	1	1	0	1	0	2	1
25	0	0	0	1	1	0	1	1	1	4	1
26	1	0	0	1	1	1	0	0	1	3	1
27	0	1	0	1	1	1	0	0	0	3	3
28	1	1	0	1	1	0	1	1	0	2	1
29	0	0	1	1	1	1	1	1	0	2	1
30	1	0	1	1	1	0	0	0	0	3	3
31	0	1	1	1	1	0	0	0	1	3	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1

(4.1) ve (4.2) yardımıyla d_2 tasarımına ait kuvvet momentleri;

$$K_{1,0} = 3.5,\ K_{2,0} = 14,\ K_{3,0} = 61.25$$
$$K_{4,0} = 291.5,\ K_{5,0} = 1499.75$$
$$K_{1,1} = 5.25,\ K_{2,1} = 21,\ K_{3,1} = 91.5$$
$$K_{4,1} = 429,\ K_{5,1} = 2146.5$$

şeklinde elde edilir.

(4.4)'ten kelime uzunluğu yapıları en az moment sapma ölçütüne uyarlanabilir. Çizelge 5.2'de verilen kelime uzunluğu yapılarının kuvvet momentleri ile gösterimi (5.3)'te ve en az moment sapma ölçütüne göre kelime uzunluğu yapıları da Çizelge 5.5'te verilmektedir.

$$\begin{aligned}
\hat{W}_{SWC_t} &= (K_{3,0}, K_{4,0}, K_{5,0}, K_{6,0}, ...) \\
\hat{W}_{SCF} &= (K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{3,1}, K_{5,0}, K_{4,1}, ...) \\
\hat{W}_{CC} &= (K_{3,0}, K_{2,1}, K_{4,0}, K_{5,0}, K_{3,1}, K_{6,0}, ...) \\
\hat{W}_{CW} &= (K_{3,0}, K_{4,0}, K_{2,1}, K_{5,0}, K_{6,0}, K_{3,1}, ...)
\end{aligned} \tag{5.3}$$

Çizelge 5.5. En az moment sapma ölçütüne göre kelime uzunluğu yapıları

d_1	d_2
$\hat{W}_{SWC_t} = (3.5, 14, 61.25, 288.5, 1439.75, ...)$ $\hat{W}_{SCF} = (61.25, 21.25, 95.25, 288.5, 460.75, ...)$ $\hat{W}_{CC} = (61.25, 21.25, 288.5, 1439, 75, 95.25, ...)$ $\hat{W}_{CW} = (61.25, 288.5, 21.25, 1439, 75, ...)$	$\hat{W}_{SWC_t} = (3.5, 14, 61.25, 291.25, 1499.75)$ $\hat{W}_{SCF} = (61.25, 21, 91.5, 291.5, 429, 1499.75, ...)$ $\hat{W}_{CC} = (61.25, 21, 291.5, 1499.75, 91.5 ...)$ $\hat{W}_{CW} = (61.25, 291.5, 21, 1499.75, ...)$

Çizelge 5.5'ten SCF ve CC için d_2; SWC ve CW için d_1 tasarımları daha iyidir.

6. SONUÇ

Hangi tasarımın daha iyi olduğuna karar verirken, kelime uzunluğu yapılarındaki kelime sıralaması önem taşımaktadır.

SWC tasarımları sıralarken (2.2)'de verilen kelime uzunluğu yapısını kullanır. Aynı kelime uzunluğu yapısına sahip tasarımları karşılaştırırken de (2.5)'te verilen kelime uzunluğu yapısını kullanır; Ancak SWC tasarımları sıralarken kabul edilebilirlik kavramını kullanır. d_1 tasarımı SWC'nin kullandığı 4 ölçütten 3'ünde (W_{SWC_t},C1,C2) eşit ya da daha iyi olduğundan d_1 tasarımı kabul edilebilir bir tasarımdır. W_{SWC_b} ölçütünde ise d_2 tasarımı d_1'den daha iyi bir tasarım olduğundan SWC'ye göre d_1 tasarımı daha iyi olmasına rağmen d_2 tasarımı da kabul edilebilir bir tasarımdır. SWC yöntemi tasarımları sıralamada uygun olmasına rağmen kabul edilebilir tasarım sayısı fazladır.

SCF, (3.8)'de $A_{2,1}$ uzunluğundaki kelimelerin, $A_{4,0}$'dan daha az istenen olduğunu belirttiğinden, Çizelge 5.2'de $A_{2,1} = 0$ yapan d_2 tasarımı daha iyi bulunmuştur. Ancak, $A_{2,1}$ uzunluğunda, bir blok etkisi ile karıştığından tahmin edilemeyen bir ikili etkileşim varken, $A_{4,0}$'da bu sayı daha fazladır. SCF'ye göre daha iyi tasarım olan d_2'de, d_1'e göre daha az sayıda düşük dereceli etkileşim tahmin edilebildiğinden, SCF'nin sıralamasının uygun olmadığı söylenebilir.

CC'ye göre de $A_{2,1}$ uzunluğundaki kelimeler $A_{4,0}$'dan daha az istenirdir (Bkz. (3.10)). Bu nedenle SCF gibi CC'de d_2 tasarımını d_1'den daha iyi bir tasarım olarak görür. CC'nin sıralamasının da uygun olmadığı söylenebilir.

CW'nin kelime uzunluğu yapısı tahmin kapasitesi en yüksek olacak ş ekilde düzenlenmiştir. Kelimelerin, uzunluklarına göre sıralaması uygundur (Bkz. (3.11)). Tahmin edilebilen düşük dereceli etkileşim sayısının en yüksek olduğu kelime uzunluğu yapısını sunmuşlardır.

En az moment sapma ölçütü kelime uzunluğu yapılarına uygulandığında sonuçlar aynıdır. Bu ölçüt TBA'yı kullanmadığından işlem kolaylığı sağlar.

Tasarımları karşılaştırırken CW'nin kelime uzunluğu yapısı kullanılabilir. Ancak yüksek boyutlu tasarımlarda TBA'yı oluşturmak oldukça güçtür. TBA kullanmaksızın tasarımları sıralamada en az moment ölçütünü CW'nin kelime uzunluğu yapısına uygulayarak tasarımları karşılaştırmak uygundur.

KAYNAKLAR

Bisgaard, S., (1994b). A note on the definition of resolution for blocked 2^{n-p} designs, *Technometrics* 36, 308-311.

Box, G.E.P., Hunter, W.G. and Hunter, J.S. (1978). *Statistics for Experimenters*, New York: Wiley 620.

Chen, H. and Cheng, C.S. (1999). Theory of optimal blocking of 2^{n-m} designs, *The Annals of Statistics* 27(6), 1948-1973.

Cheng, S.W. and Wu, C.F.J. (2002). Choice of optimal blocking schemes in two-level and three-level designs, *Technometrics* 44, 269–277.

Cheng, S.W., Wu, C.F.J. and Wu, H. (2003). Finding defining generators with extreme lenghts, *Journal of Statistical Planning and Inference* 113, 315-321.

Cochran, W.G. and Cox, G.M. (1950). *Experimental Desings*, Wiley, New York.

Fries, A. and Hunter, W.G. (1980). Minimum Aberration 2^{k-p} Designs, *Technometrics* 22, 601-608.

Ke, W. (2007). Optimal selection of blocked two-level fractional factorial designs, *Applied Mathematical Sciences* 1(22), 1069-1082.

Montgomery, D.C. (1984). Design and Analysis of Experiments, Second Edition, John Wiley&Sons, New York, 538.

Mukerjee, R. (2006). *Modern Theory of Factorial Designs*, Springer Series and Statistics, Springer, New York 216.

Sitter, R.R., Chen, J. and Feder, M. (1997). Fractional resolution and minimum aberration in blocked 2^{n-p} Designs, *Technometrics* 39, 4, 382-390.

Sun, D.X., Wu, C.F.J. and Chen, Y. (1997). Optimal blocking schemes for 2p and 2n‒p designs. *Technometrics* 39, 298–307.

Xu, H. (2003). Minimum moment aberration for nonregular designs and supersaturated designs. *Statistica Sinica* 13, 691–708.

Xu, H. and Lau, S. (2006). Minimum aberration blocking schemes for two- and three-level fractional factorial designs. *Journal of Statistical Planning and Inference* 136, 4088–4118.

Wu, C.F.J. and Hamada, M. (2000). *Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*, Wiley, NewYork, 630.