

TAVUK DIŞKILARININ ANAEROBİK ARITIMINDA İSTATİSTİKSEL TEKNİK KULLANILARAK EN UYGUN KOŞULLARIN BELİRLENMESİ

Mustafa Serhat EKİNCİ ve S. Ferda MUTLU

Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe, Ankara
msekinci@gazi.edu.tr, fmumlu@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.11.2009 ; Kabul/Accepted: 28.07.2009)

ÖZET

Bu çalışmada tavuk dışkılarının anaerobik arıtımında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim hızını ifade eden istatistiksel bir model geliştirilmiştir. Sıcaklık, pH ve toplam katı yüzdesi 2³-faktöriyel deneysel tasarıma göre seçilerek, bu faktörlerin KOİ giderim hızına etkileri kesikli reaktörlerde Box-Wilson deneysel tasarım yöntemine göre incelenmiştir. Deneysel sonuçlar "Design Expert 7.0.3 Trial" paket programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Reaktörler eşit hacimde anaerobik özümleyici çamurla aşılanmışlardır. Geliştirilen model kullanılarak en yüksek KOİ giderim hızı, sıcaklık, pH ve toplam katı yüzdesinin sırasıyla 35 °C, 6.9, 7.01 (g/100 g) değerlerinde 368,17 mg KOİ/L.g katı atık/gün olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tavuk dışkısı, anaerobik arıtım, kimyasal oksijen ihtiyacı, istatistiksel analiz.

DETERMINATION OF OPTIMUM CONDITIONS WITH USING A STATISTICAL TECHNIQUE TO THE ANAEROBIC DIGESTION OF HEN MANURE

ABSTRACT

In this study, a statistical model which can be used to describe rate of reduction of chemical oxygen demand (COD) in anaerobic digestion of hen manure was developed. Temperature, pH, and total solid percent were chosen as a 2³-factorial experimental design and the effects of these factors on the rate of reduction of COD were examined in batch reactors according to the Box-Wilson experimental design method. Experimental results were evaluated statistically by using "Design Expert 7.0.3 Trial" package program. All reactors were inoculated with equal volume of anaerobic digester sludge. With the use of the developed model maximum rate of reduction of COD was obtained as 368,17 mg COD/L.g solid.day when temperature, pH and total solid percent were 35 °C, 6.9, 7.01 (g/100 g) respectively.

Keywords: Hen manure, anaerobic treatment, chemical oxygen demand, statistical analysis.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hayvan dışkılarının anaerobik bozunması, bileşimi temel olarak metan ve karbondioksitten oluşan biyogazın üretimine neden olur. Depolanmaları sırasında hayvan dışkılarının doğal bozunumu sonucu oluşan CH₄ salınımı, sera gazlarından kaynaklanan küresel ısınmaya neden olması dolayısıyla istenmeyen bir durumdur [1]. Ayrıca dışkılarının depolanması sırasında içerdikleri azot ve fosfor yüzey sularında yaşlanmaya ve toprakla yeraltı sularında kirlenmeye neden olmaktadır [2]. Metan gazı atmosferde karbondioksit göre daha az bulunmasına karşılık küresel ısınma üzerinde

23 kat daha fazla etkilidir [3]. Denetimli bir anaerobik bozunma ile dışkılarının depolanması süresince atmosfere salınacak metan azaltılabilir ve elde edilen CH₄ fosil yakıtların yerine enerji kaynağı olarak kullanılabilir [1]. Hayvan dışkılarının anaerobik arıtımı biyolojik bir süreçtir. Bu yüzden anaerobik bozunumu sıcaklık, pH, hammaddenin içeriği, karbon/azot oranı, besleme hızı ve zehirli maddeler gibi birçok etken etkiler [4].

Tarım endüstrilerinin ekonomide önemli bir paya sahip olduğu Türkiye'de, 2006 yılı sonu toplam tavuk sayısı yaklaşık 345 milyon adet olarak belirlenmiştir

[5]. Bir tavuktan ise bir yılda ortalama 60 kg ıslak dışkı elde edilir [6]. Elde edilen bu dışkılarının anaerobik olarak arıtılması ülke ekonomisine katkıda bulunmakla birlikte insan sağlığı ve çevre için de olumsuzlukların önüne geçecektir.

Anaerobik arıtım sürecinin gerçekleştiği sıcaklık aralıkları bu aralıklarda etkin mikroorganizma türlerine göre; sakrofilik (15-25 °C), mezofilik (35-37 °C) ve termofilik (50-60 °C) olarak adlandırılır. Biyogaz üretimi için en uygun iki sıcaklık değeri vardır. Bunlar mezofilik koşullar için 35 °C, termofilik koşullar için 55 °C'dir. Termofilik koşullarda anaerobik arıtımın, metabolik hızın yüksek olması gibi üstünlüğünün yanında, mezofilik koşullara göre daha az kararlı olması ve daha fazla enerji gereksiniminin olması gibi olumsuzlukları vardır [7]. Anaerobik arıtım süreci ani sıcaklık değişikliklerinden, süreci gerçekleştiren değişik mikroorganizma grupları bulunduğu için olumsuz yönde etkilenir [8].

Anaerobik arıtım için ideal pH aralığı 6,8-7,2 'dir. Metan üretim basamağının optimum pH değeri 7,0 civarında iken hidroliz ve asit üretim basamaklarının optimum pH değeri 5,5-6,5 arasındadır [9]. Bu yüzden anaerobik arıtım basamaklarının birbirleriyle uyumlu yürütüleceği optimum bir pH değeri belirlenmelidir.

Dışkılarının içerisinde bulunan mikroorganizmalar istenen dönüşüm hızına ulaşılması için yeterli olmayabilir. İşletilmekte olan başka bir tesisten alınan çamur (aşı) yüksek mikroorganizma içermesi nedeni ile yeni çalışacak tesisin işletmeye alınma sürecini kısaltır [10].

Düşük katı oranlarında havasız ortam koşullarını sağlamak zorlaşır, yüksek katı derişiminde ise bakteriyel etkinliğin yavaşlaması nedeni ile biyogaz üretim hızı düşer [10].

Bujoczek ve arkadaşları kesikli sistemde, 35 °C'de yüksek katı içerikli tavuk gübresinin anaerobik arıtımını incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda % 10,3 katı yüzdesinin en uygun olduğu görülmüştür [11].

Mahanta ve arkadaşlarının kesikli sistemde yapmış oldukları çalışmada 35 °C'de ve sığır dışkısı toplam katı yüzdesinin % 8 olduğu koşullarda biyogaz üretiminin daha fazla olduğu belirlenmiştir [12].

Anozie ve arkadaşları pilot ölçekli kesikli biyogaz reaktörü tasarlayarak 40 günlük bekleme süresinde dört farklı atıktan biyogaz üretimini incelemişlerdir. Atık olarak tavuk dışkısı, mısır sapı, sığır dışkısı ve bunların aynı oranda karışımını kullanmışlardır. Günlük ortalama biyogaz üretimi en fazla (137 litre) tavuk dışkısından, en az ise (16,38 litre) mısır sapından elde edilmiştir. Biyogaz üretimi tavuk dışkısından ikinci

günde, mısır sapından altıncı günde, sığır dışkısından üçüncü günde başlamıştır [13].

Karim ve arkadaşları karıştırma çeşidinin ve katı yüzdesinin laboratuvar ölçekli anaerobik reaktörlerin performansına etkisini incelemişlerdir. Düşük katı derişimlerinde (%5) üretilen gaz yeterli miktarda karışımı sağladığı için ayrıca yapılan bir karıştırmanın etkisinin olmadığı görülmüştür. %10 katı yüzdesinde çalışılan deneylerde karıştırma ve karıştırma çeşidinin biyogaz üretimine önemli derecede olumlu etkisi gözlemlenmiştir [14].

Daha önceki yapılan çalışmalarda anaerobik arıtıma sıcaklık, pH ve katı madde yüzdesinin etkisi birlikte incelenmemiştir. Bu çalışmada ise tavuk üretim çiftliğinden alınan tavuk dışkılarının 24 saatlik anaerobik arıtımı sonucunda kimyasal oksijen ihtiyacı giderim hızı üzerine sıcaklık, pH ve tavuk dışkısı katı madde yüzdesinin birlikte etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Tavuk Dışkısının Özellikleri (Characterization of Hen Manure)

Deneyisel çalışmada kullanılan tavuk dışkısı T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tavukçuluk Araştırma Enstitüsüne bağlı üretim çiftliğinden, reaktörlere yapılan aşı ise Ankara Belediyesi ASKİ anaerobik arıtım tesislerinden alınan özümleyiciden sağlanmıştır. Alınan tavuk dışkısının özellikleri Standard Methods'a göre belirlenmiştir [15]. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Tavuk dışkısının özellikleri (Properties of hen manure)

Özellikler	Tavuk dışkısındaki değerler
Toplam kuru katı, g / g dışkı	0,28
Nem miktarı, %	72,03
Toplam çözülmüş katı, g / g dışkı	0,0475
Toplam askıdaki katılar, g / g dışkı	0,2322
Uçucu katılar, g / g dışkı	0,2125
Sabit katılar, g / g dışkı	0,0686

2.2. Deneyisel Tasarım (Experimental Design)

Deneyler 'Box-Wilson' deneyisel tasarım yöntemine göre tasarlanmıştır. 'Box-Wilson' deneyisel tasarımı, fiziksel ve kimyasal süreçlerin matematiksel modellerini üretmek için genel deneyler serisinden oluşan etkin bir temele dayalı bir yöntemdir. Özellikle endüstriyel uygulamalarda kullanımı ve yararı, seçilen faktörlerin uygun bir aralığında fiziksel durumun kuadratik fonksiyonla tanımlanmasıyla artmaktadır. Regresyon modeli aşağıda verilen şekilde ifade edilir.

$$Y = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j$$

Y bağımlı değişken, b_0 kayma terimi, b_i değerleri doğrusal katsayılar, b_{ij} değerleri ise kuadratik katsayılardır. i ve j 1'le değişken sayısı arasında değişir.

Bağımsız değişkenler olarak sıcaklık (X_1 , °C), pH (X_2) ve tavuk dışkısı katı yüzdesi (X_3 , ağı./ağı.) seçilmiştir. KOİ giderim hızı (Y) ise bağımlı değişkendir. Kolaylık sağlama amacı ile modeldeki bağımsız değişkenlerin kodlanmış değerleri kullanılmıştır.

X_i değişkenleri x_i olarak aşağıdaki eşitliğe göre kodlanmıştır.

$$x_i = (X_i - X_i^0) / \Delta X_i$$

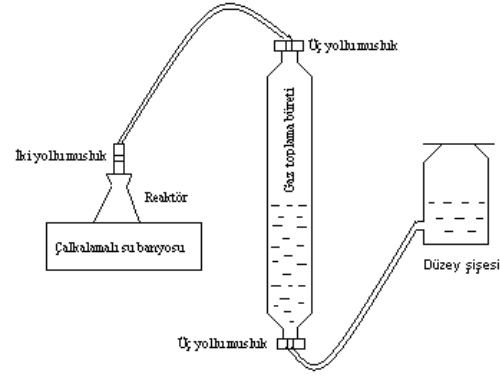
Burada x_i X_i değişkeninin kodlanmış değeri, X_i^0 i değişkeni için seçilen çalışma aralığının orta değeri, ΔX_i ise adım aralığıdır [16]. Bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

2.3. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Her bir deney koşulu için bir adet olmak üzere toplam 20 adet 250 mL hacimli cam erlenler kesikli reaktör olarak kullanılmıştır. Her bir reaktör içerisine katı madde yüzdesine göre hesaplanan miktarlarda tavuk dışkısı, su ve aşı mikroorganizma içeren anaerobik özümleyicilerden alınan arıtma çamuru eklenmiştir. Her bir reaktöre eklenen arıtma çamuru eşit miktarlardadır. Sıcaklık ve pH ayarları yapıldıktan sonra anaerobik arıtım süreci başlatılmıştır. Anaerobik arıtım boyunca pH ölçümleri Metrohm markalı 744 model bir pH metre ile yapılmıştır. pH ayarı molariteleri 0,1 M–5 M aralığında değişen NaOH çözeltileri ile 0,1 M–1 M aralığında değişen H_2SO_4 çözeltileri ile yapılmıştır. İstenilen reaktör sıcaklıkları sıcak su banyoları ile sağlanmıştır. Anaerobik arıtım süresince mikroorganizmaların etkinlikleri sonucu oluşan gazlar dereceli büretlerde toplanmıştır (Şekil 1). Reaktörlerden başlangıçta ve her 6 saatte bir örnekler alınmıştır. Alınan örnekler homojenleştirme cihazıyla homojenize edilmiştir. Bu örneklerin KOİ ölçümleri üçer defa tekrar edilerek elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. KOİ ölçümleri dışkının çözünen ve çözünmeyen kısımlarında toplam olarak yapılmıştır.

2.4. Ölçüm Yöntemleri (Analytical Methods)

KOİ derişimleri markası WTW, modeli pFotoFlex Turb olan fotometre ile 0-1000 mg/L KOİ aralığında ölçüm yapabilen kitlerle ölçülmüştür. Diğer tüm ana-



Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental setup)

lizler Standard Methods'a göre gerçekleştirilmiştir [15]. pH ölçümleri Metrohm markalı 744 model pH metre ve LL SOLITR.PT1000 model pH elektrotu kullanılarak yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Koşulları 'Box-Wilson' deneysel tasarım yöntemine göre tasarlanmış deneylerin KOİ ölçüm sonuçları 'Design-Expert 7.0.3' paket programının 45 günlük deneme sürümü ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bağımsız değişkenlerin model üzerine etkileri ANOVA testi uygulanarak incelenmiş, değişkenlerin modeldeki katsayıları ve p değerleri (önem düzeyleri) Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Bağımsız değişkenlerin modeldeki katsayıları ve p değerleri (Coefficients and p values of independent variables in model)

Model değişkenleri	Hesaplanan katsayılar	p değerleri
Sabit	360,25	<0,0001
X_1	19,12	0,0090
X_2	-21,12	0,0051
X_3	-36,34	0,0001
X_1X_2	46,06	0,0001
X_1X_3	37,43	0,0007
X_2X_3	20,38	0,0248
X_1^2	-53,74	<0,0001
X_2^2	-71,37	<0,0001
X_3^2	-62,57	<0,0001

Tablo 3'deki katsayılara göre KOİ giderim hızı için elde edilen model eşitliği kodlanmış değerler cinsinden aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$Y \text{ (KOİ giderim hızı, mg KOİ/L.g katı atık.gün)} = 360,25 + 19,12X_1 - 21,12X_2 - 36,34X_3 + 46,06X_1X_2 +$$

Tablo 2. Bağımsız değişkenlerin kodlanmış ve gerçek değerleri (Real and coded values of independent variables)

Bağımsız değişkenler	Kodlanmış ve gerçek değerler				
	-1.682 (- α)	-1	0	+1	+1.682 (+ α)
Sıcaklık (X_1 , °C)	31,64	33	35	37	38,36
pH (X_2)	6,16	6,5	7,0	7,5	7,84
Tavuk dışkısı katı yüzdesi (X_3 , ağı./ağı.)	2,95	5	8	11	13,05

$$37,43X_1X_3 + 20,38X_2X_3 - 53,74X_1^2 - 71,37X_2^2 - 62,57X_3^2 \quad R^2 = 0.9775$$

Modeldeki terimlerin p değerlerinin (önem düzeylerinin) 0,05 değerinden küçük olması bu terimlerin model için etkili olduğunu, 0,1 değerinden büyük olması da model için etkisinin ihmal edilebilir olduğunu gösterir. Buna göre model üzerinde bütün terimler etkili olup, etkisi en fazla olan terimler sıcaklığın karesi, pH'nin karesi ve katı yüzdesinin karesidir. Model denkleğine ait R^2 değerinin (0,9775) 1'e yakın olması, modelin 20 değişik çalışma koşulunda elde edilen sonuçları iyi ifade ettiğini göstermiştir.

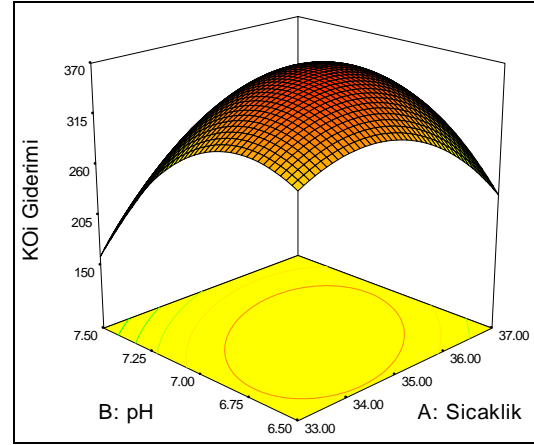
Şekil 2'deki grafiğe göre deneylerden elde edilen sonuçlar ile modelden hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmektedir.

Elde edilen model denkleminde KOİ giderim hızını en yüksek yapan sıcaklık, pH ve katı yüzdesinin en uygun değerleri sırasıyla 35 (°C), 6,9, 7,01 (g /100 g) olarak bulunmuştur. Bu değerlerde KOİ giderim hızı 368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gündür.

Katı yüzdesi en uygun değeri olan 7,01 iken sıcaklık ve pH'nin KOİ giderim hızına etkisini gösteren üç boyutlu cevap yüzey eğrisi Şekil 3'de görülmektedir. Grafiğin daha iyi anlaşılabilmesi için eş yüzey eğrileri ile gösterimi Şekil 4'de verilmiştir.

Şekil 3 ve Şekil 4'de verilen grafiklere göre KOİ giderim hızı pH ve sıcaklık arttığında artmış, en yüksek değerine (368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gün) ulaşmıştır. Bu noktadan sonra sıcaklık ve pH'nin artışıyla KOİ giderim hızı düşmeye başlamıştır.

pH en uygun değeri olan 6,9 iken sıcaklık ve katı



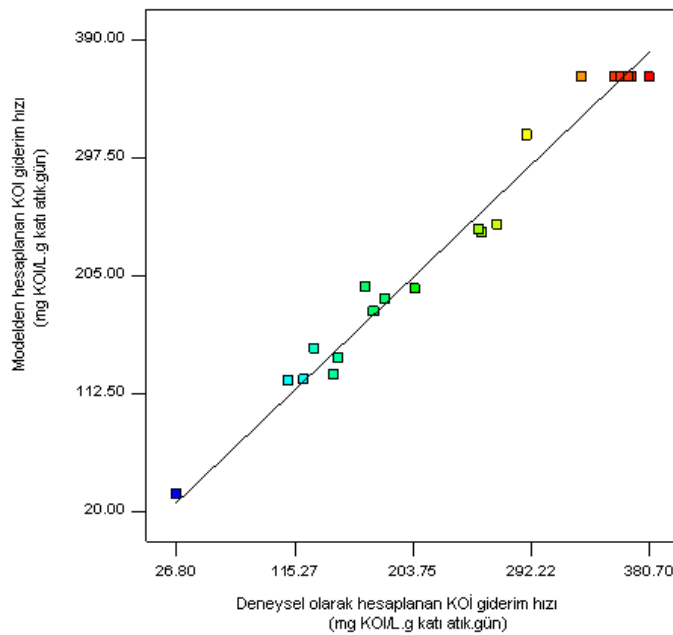
Şekil 3. KOİ giderim hızına sıcaklık ve pH'nin etkisi (Effects of temperature and pH on the rate of reduction of COD)

yüzdesinin KOİ giderim hızına etkisi üç boyutlu cevap yüzey eğrisi ile Şekil 5'de, eş yüzey eğrileri ile Şekil 6'da gösterilmiştir.

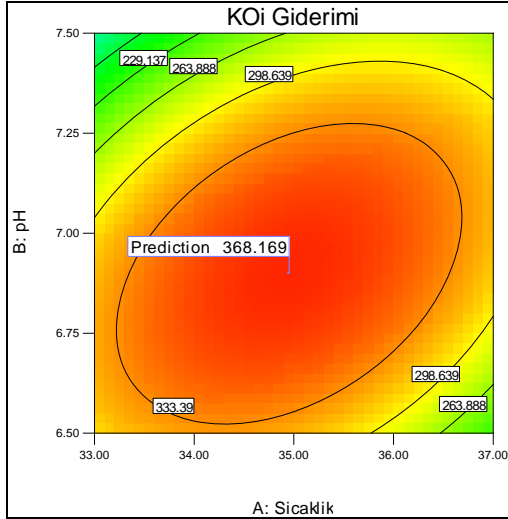
KOİ giderim hızı üzerine sıcaklık ve katı yüzdesinin etkisini gösteren grafikler incelendiğinde, katı yüzdesi ve sıcaklığın artışıyla birlikte KOİ giderim hızı da artmıştır. En yüksek değerine (368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gün) ulaştıktan sonra katı yüzdesi ve sıcaklığın artışıyla düşme göstermiştir.

Sıcaklık en uygun değeri olan 35 °C iken pH ve katı yüzdesinin KOİ giderim hızına etkisi üç boyutlu cevap yüzey eğrisi ile Şekil 7'de, eş yüzey eğrileri ile Şekil 8'de gösterilmiştir.

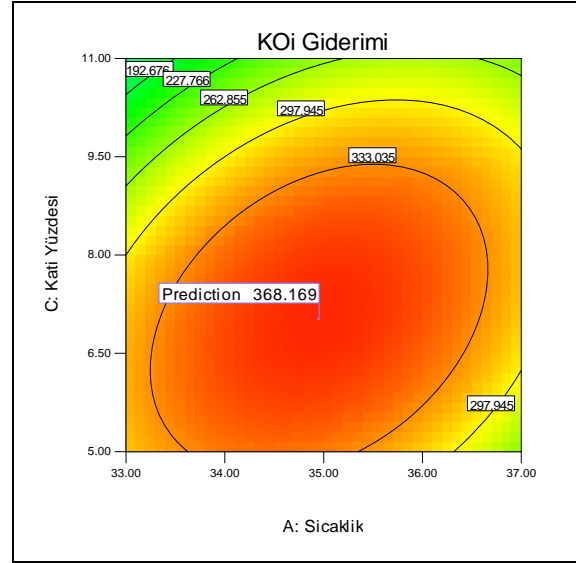
Şekil 7 ve 8'e göre pH ve katı yüzdesinin artışıyla KOİ giderim hızında belli bir değere kadar (368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gün) artış, daha sonra düşüş gözlenmiştir.



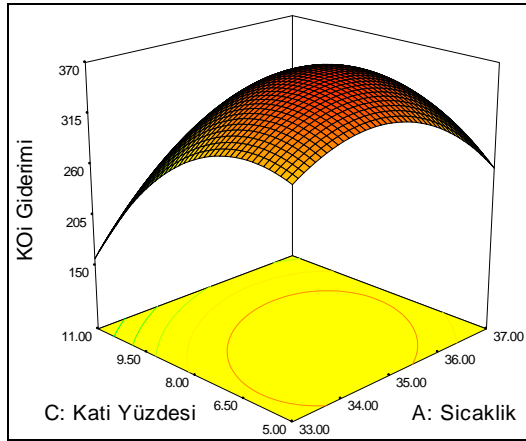
Şekil 2. KOİ giderim hızı için deneysel sonuçlar ile model sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of experimental results and model results for rate of reduction of COD)



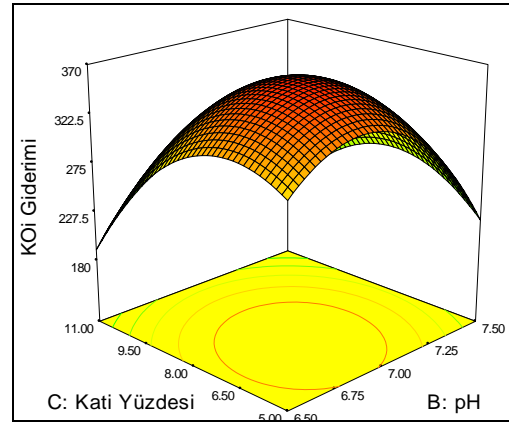
Şekil 4. KOİ giderim hızına sıcaklık ve pH'nin etkisinin eş yüzey eğrileri ile gösterimi (Contour graph of effects of temperature and pH on the rate of reduction of COD)



Şekil 6. KOİ giderim hızına sıcaklık ve katı yüzdesinin etkisinin eş yüzey eğrileri ile gösterimi (Contour graph of effects of temperature and percent solid on the rate of reduction of COD)



Şekil 5. KOİ giderim hızına sıcaklık ve katı yüzdesinin etkisi (Effects of temperature and percent solid on the rate of reduction of COD)



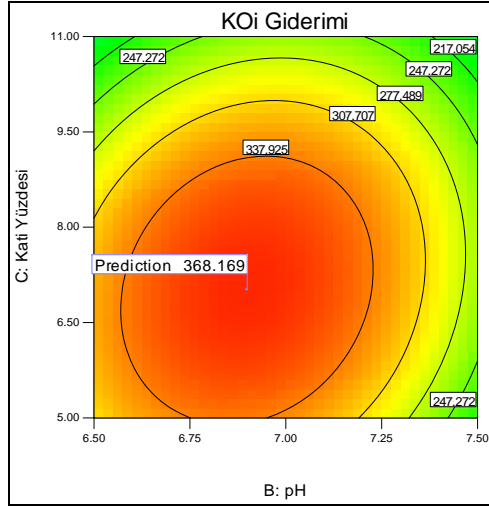
Şekil 7. KOİ giderim hızına pH ve katı yüzdesinin etkisi (Effects of pH and percent solid on the rate of reduction of COD)

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSIONS)

Kimyasal oksijen ihtiyacı giderim hızı için yapılan analiz sonuçları 'Design Expert 7.0.3' programı ile istatistiksel olarak değerlendirilmiş, KOİ giderim hızına sıcaklık, pH ve katı yüzdesinin birlikte etkisi incelenmiştir. KOİ miktarlarındaki azalma ile mikroorganizmaların etkinlikleri sonucu oluşan gazın orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren grafiklere göre KOİ giderim hızı bu bağımsız değişkenlere bağlı olarak bir maksimum nokta (368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gün) vermiştir. ANOVA testi ile elde edilen model eşitliğine bağımsız değişkenlerin ne derece etkili olduğu belirlenmiştir. Model parametrelerinin tamamının p (önem düzeyi) değerlerinin 0.05'den küçük olması bu parametrelerin model üzerinde etkili olduklarını göstermiştir. p değerlerine bakıldığında model üzerinde etkisi en büyük olan parametreler sıcaklığın karesi, pH'nin karesi ve katı yüzdesinin karesi olmuştur. Daha sonra ise etkisi en çok olandan en az olana doğru katı

yüzdesi ve sıcaklık-pH ikili etkisi, sıcaklık-katı yüzdesi ikili etkisi, pH, sıcaklık, pH-katı yüzdesi ikili etkisi şeklinde sıralanmıştır. Bulunan en uygun katı yüzdesi olan 7.01 (g/100g) değeri Bujoczek ve arkadaşlarının bulmuş oldukları % 10.3 değerinden küçüktür [11]. Webb ve Hawkes'in bulmuş olduğu katı oranı olan % 4-6 aralığına göre ise daha yüksektir [17]. Bulunan en uygun pH değeri (6.9) literatürde verilen asetogenlerle metan bakterilerinin ortak çalışabileceği pH aralığındadır [9].

Elde edilen model denkleğine ait R^2 değerinin (0,9775) 1'e yakın olması, modelin 20 değişik çalışma koşulunda elde edilen sonuçları iyi ifade ettiğini göstermiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile modelden hesaplanan sonuçlar karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 8. KOİ giderim hızına pH ve katı yüzdesinin etkisinin eş yüzey eğrileri ile gösterimi (Contour graph of effects of pH and percent solid on the rate of reduction of COD)

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Araştırmamıza 06/2006-25 kod nolu projeye destek olan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ve ayrıca desteklerinden ötürü Gazi Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Moller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K., "Methane Productivity of Manure, Straw and Solid Fractions of Manure", **Biomass & Bioenergy**, Cilt 26, 485-495, 2004.
- Güngör Demirci, G., Demirer, G.N., "Effect of Initial COD Concentration, Nutrient Addition, Temperature and Microbial Acclimation on Anaerobic Treatability of Broiler and Cattle Manure", **Bioresource Technology**, Cilt 93, 109-117, 2004.
- Sommer S.G., Petersen S.O., Sorensen, P., Poulsen H.D., Moller, B.H., "Methane and Carbon Dioxide Emissions and Nitrogen Turnover During Liquid Manure Storage", **Nutr Cycl Agroecosyst**, Cilt 78, 27-36, 2007.
- Hammad, M., Badarneh, D., Tahboub, K., "Evaluating Variable Organic Waste to Produce Methane", **Energy Conversion & Management**, Cilt 40, 1463-1475, 1999.
- Tarım İstatistikleri Özeti**, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 2007.
- Demirer N.D., Duran, M., Ergüder T.H., Güven, E., Uğurlu, Ö., Tezel, U., "Anaerobic Treatability and Biogas Production Potential Studies of Different Agro-Industrial Wastewaters in Turkey", **Biodegradation**, Cilt 11, 401-405, 2000.
- Bouallagui, H., Haouari, O., Touhami, Y., Ben Cheikh, R., Marouani, L., Hamdi M., "Effect of Temperature on The Performance of an Anaerobic Tubular Reactor Treating Fruit and Vegetable Waste", **Process Biochemistry**, Cilt 39, 2143-2148, 2004.
- Leitao, R.C., Haandel, A.C., Zeeman, G., Lettinga, G., "The Effects of Operational and Environmental Variations on Anaerobic Wastewater Treatment Systems: A Review", **Bioresource Technology**, Cilt 97, 1105-1118, 2006.
- Yu, H., Fang, H., Gu, G., "Comparative Performance of Mesophilic and Thermophilic Acidogenic Upflow Reactors", **Process Biochemistry**, Cilt 38, 447-454, 2002.
- Mutlu, S.F., "Biyogazın Kırsal Kesimde Kullanımı ve Tasarım Temelleri", **Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi**, Cilt 27, 39-41, 2003.
- Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R., Cenkowski, S., "High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure", **J.Agricultural Engineering Resources**, Cilt 76, 51-60, 2000.
- Mahanta, P., Saha, U.K., Dewan, A., Kalita, P., "The Influence of Temperature and Total Solid Concentration on the Gas Production Rate of a Biogas Digester", **Journal of Energy in Southern Africa**, Cilt 15, 112-117, 2004.
- Anozie, A.N., Layokun, S.K., Okeke, C.U., "An Evaluation of a Batch Pilot- Scale Digester for Gas Production from Agricultural Wastes", **Energy Sources**, Cilt 27, 1301-1311, 2005.
- Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, T., Al-Dahhan, M.H., "Anaerobic Digestion of Animal Waste: Waste Strength Versus Impact of Mixing", **Bioresource Technology**, Cilt 96, 1771-1781, 2005.
- APHA, "Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater", **American Public Health Association**, 20th Edition, Washington D.C., 1998.
- Ergun, M., Mutlu, S.F., "Application of a Statistical Technique to The Production of Ethanol from Sugar Beet Molasses by *Saccharomyces cerevisiae*", **Bioresource Technology**, Cilt 73, 251-255, 2000.
- Webb, A.R., Hawkes F.R., "The Anaerobic Digestion of Poultry Manure: Variation of Gas Yield With Influent Concentration and Ammonium -Nitrogen Levels", **Agricultural Wastes**, Cilt 14, 135-156, 1985.