

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAFİK AKIŞINDA SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİNİN
ADOMİAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ**

ERMAN ŞENTÜRK

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

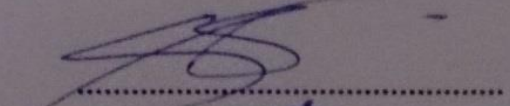
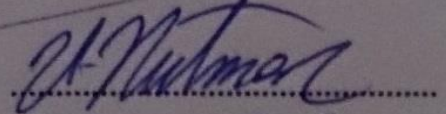
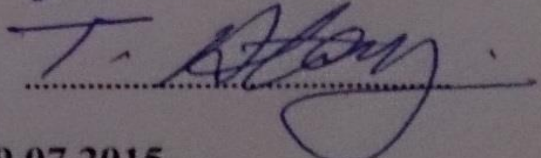
TRAFİK AKIŞINDA SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİNİN
ADOMİAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

ERMAN ŞENTÜRK

Prof.Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Utkan MUTMAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Mehmet Tarık ATAY
Jüri Üyesi, Abdullah Gül Üniv.

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2015

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında beni teşvik eden, her konuda desteğini esirgemeyen, akademik tecrübesi, bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmamın başarıyla sonuçlanmasını sağlayan, tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Safa Bozkurt ÇOŞKUN'a teşekkür ederim.

Tez savunma jürimde bulunan ve çalışmamın daha iyi koşullara gelmesi için fikir sunan Sayın hocalarım Yrd.Doç.Dr. Utkan MUTMAN ve Yrd.Doç.Dr. Mehmet Tarık ATAY'a ayrıca teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca verdiğim tüm kararları destekleyen, yanımda olan babam İsmail ŞENTÜRK'e, annem Sevgi ŞENTÜRK'e, kardeşlerim Erhan ve İ.Erkan ŞENTÜRK'e ve eşim Sinem ŞENTÜRK'e sonsuz teşekkürler.

Temmuz – 2015

Erman ŞENTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. TRAFİK AKIŞ TEORİSİ	3
1.1. Trafik Akış Teorisinde Temel Kavramlar	3
1.1.1. Akış değişkenleri	3
1.1.2. Yoğunluk değişkenleri	4
1.1.3. Hız değişkenleri.....	4
1.2. Trafik Akış Teorisinin Temel Bağıntısı	5
1.2.1. Akış değeri (hacim) – hız ilişkisi.....	5
1.2.2. Akış değeri (hacim) – yoğunluk ilişkisi	5
1.2.3. Hız – yoğunluk ilişkisi.....	6
1.3. Trafik Akış Modelleri	6
1.3.1. Makroskobik modeller.....	6
1.3.2. Mikroskobik modeller	6
1.3.3. Mezoskopik modeller	7
2. TRAFİK AKIŞINDA SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİ.....	8
3. ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ (AAY)	11
3.1. Uygulama: Doğrusal Bir Denklemin Çözümü	12
3.2. Uygulama: Doğrusal Olmayan Bir Denklemin Çözümü	14
4. YÖNTEMİN SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİNE UYARLANMASI ..	16
5. SAYISAL UYGULAMALAR	19
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	29
KAYNAKLAR.....	30
EKLER.....	32
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	35
ÖZGEÇMİŞ	36

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Trafik akış teorisinin üç değişkeni arasındaki ilişkiler	5
Şekil 2.1.	Araç yoğunluğunun trafik sıkışıklığına ve trafik akış hızına etkisi	8
Şekil 2.2.	Trafik sıkışıklığında hızlanma/frenleme dengesi	9
Şekil 5.1.	Mod 1 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar.....	20
Şekil 5.2.	Mod 1 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı	20
Şekil 5.3.	Mod 2 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar.....	21
Şekil 5.4.	Mod 2 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı	22
Şekil 5.5.	Mod 3 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar.....	23
Şekil 5.6.	Mod 3 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı	23
Şekil 5.7.	Mod 4 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar.....	24
Şekil 5.8.	Mod 4 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı	25
Şekil 5.9.	$\varepsilon=0,25$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,75$ değerleri için q-t diyagramı.....	27
Şekil 5.10.	$\varepsilon=0,75$, $\sigma=2,50$ ve $A=0,50$ değerleri için q-t diyagramı.....	28
Şekil 5.11.	$\varepsilon=3,25$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,50$ değerleri için q-t diyagramı.....	28
Şekil 5.12.	$\varepsilon=2,00$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,25$ değerleri için q-t diyagramı.....	28

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1. ε , σ ve t parametrelerinin farklı değerleri için modlar	19
Tablo 5.2. Mod 1 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması	19
Tablo 5.3. Mod 2 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması	21
Tablo 5.4. Mod 3 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması	22
Tablo 5.5. Mod 4 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması	24
Tablo 5.6. AAY, DDY, HPY ve VİY yöntemlerinin karşılaştırması.....	25
Tablo 5.7. AAY ve DDY karşılaştırması (n=9)	27

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

L : Türev operatörü
L⁻¹ : İntegral operatörü

Kısaltmalar

AAY : Adomian Ayrıştırma Yöntemi
CEBR : Centre for Economics and Business Research (Ekonomi ve İş Araştırmaları Merkezi)
DDY : Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi
HPY : Homotopi Pertürbasyon Yöntemi
STGP : Sıkışık Trafığe Geçiş Problemi
VIY : Varyasyonel İterasyon Yöntemi

TRAFİK AKIŞINDA SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİNİN ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

ÖZET

Bu çalışmada Sıkışık Trafığe Geçiş Problemi (STGP) 'nin Adomian Ayrıştırma Yöntemi (AAY) yardımıyla analitik tahmini çözümü elde edilmiştir. STGP genellikle Lorenz sistemiyle modellenir. Problemi tanımlayan diferansiyel denklem doğrusal olmayan korunumsuz sarkaç modeli biçiminde meydana gelir. Adomian Ayrıştırma Yöntemi, Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi (DDY), Varyasyonel İterasyon Yöntemi (VİY) ve Homotopi Pertürbasyon Yöntemi (HPY) problemin analitik tahmini çözümünü sağlayan yöntemlerden bazılarıdır. Sonuçlar nümerik çözüm ve diğer üç analitik tahmin yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarla Adomian Ayrıştırma Yöntemi'nin problemin çözümüne getirdiği faydalar tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Adomian Ayrıştırma Yöntemi, Analitik Tahmini Çözüm, Lorenz Sistemi, Sıkışık Trafığe Geçiş Problemi, Trafik Akışı.

SOLUTION OF JAMMING TRANSITION PROBLEM WITH ADOMIAN DECOMPOSITION METHOD IN TRAFFIC FLOW

ABSTRACT

In this study, Jamming Transition Problem (JTP) is solved by using Adomian Decomposition Method. JTP is usually modeled by Lorenz system. The governing differential equations are obtained in the form of nonconservative nonlinear oscillator model. Adomian Decomposition Method, Differential Transform Method, Variational Iteration Method and Homotopy Perturbation Method are some of the methods that give the analytical approximate solution of the problem. Results of the study are compared with the results of the numeric solution, and the other three analytical approximation methods. The benefits of the results obtained with the Adomian Decomposition Method for the solution of the problem are discussed.

Keywords: Adomian Decomposition Method, Analytical Approximate Solution, Lorenz System, Jamming Transition Problem, Traffic Flow.

GİRİŞ

Trafik sıkışıklığı günümüz gelişmiş kentlerinin en önemli sorunlarından biridir. Gelişen kentler göç dalgalarıyla birlikte sürekli nüfus artışına maruz kalmaktadır. Trafik, sürekli değişen dinamik yapısı nedeniyle kolayca modellenen bir olgu değildir.

Trafik sıkışıklığının tek nedeni araç sayısı değildir. Yetersiz yol standartları, büyük eğimler, yetersiz yol kesitleri, küçük kurb yarıçapları, bozuk kaplamalar, çabuk silinen yol çizgileri, yağmurlu havalarda yetersiz ve iyi çalışmayan drenaj gibi fiziksel aksaklıklar sıkışıklığa neden olur. Ayrıca hatalı noktalarda yapılan polis kontrolleri, hatalı sinyalizasyon uygulamaları, trafiği aksatacak yol boyu otoparklar, yollarda ve yaya kaldırımlarında sık sık yapılan bakım onarım çalışmaları, dikkatsiz araba kullanımı da trafik sıkışıklığına neden olabilmektedir (Öztürk, 2005).

Sosyo-ekonomik açıdan baktığımızda trafik sıkışıklığı ülke ekonomilerine büyük yük getirmektedir. Trafik sıkışıklığının ekonomik maliyeti belirlenirken, yolculuk süresi maliyeti, taşıt işletim maliyeti, hava kirliliği maliyeti gibi parametreler ele alınmaktadır. Ayrıca sıkışıklığın, sıkışma nedeniyle trafik kazalarındaki artış, gürültü kirliliğindeki artış, ulaşım sistemlerinin verimliliğinin azalması, şehrin yaşam kalitesinde bozulma vb. gibi sosyal açıdan olumsuz durumları da söz konusudur (Öztürk, 2005). (1994) yılında Madrid'de yapılan kapsamlı bir çalışmada Madrid için günlük sıkışıklık maliyeti 7 milyon \$ olarak hesaplanmıştır. (2014) yılında INRIX ve CEBR tarafından yayınlanan kapsamlı bir raporda ise Amerika, İngiltere, Fransa ve Almanya da trafik sıkışıklığının 2013-2030 yılları arasındaki olası değişimi incelenmiştir. 2030 yılında bu dört ülke için toplam trafik sıkışıklığının maliyetinin 293 milyar \$ olacağı ve 2013 yılına göre %50 artış göstereceği tahmin edilmiştir. 2013 yılında sürücü başına maliyetin 1,740 \$ olduğu ve 2030 yılında bunun 2,902 \$ olacağı öngörülmüştür. Ayrıca 2013 yılından 2030 yılına kadar trafik sıkışıklığının bu dört ülke için birikmiş maliyetinin 4,4 trilyon \$ olacağı söylenmiştir. Rakamlar incelendiğinde trafik sıkışıklığına çözüm arayışlarının ne kadar önemli düzeyde olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Trafik sıkışıklık probleminin çözümünde birçok farklı yaklaşım bulunmakla birlikte bu çalışma da Sıkışık Trafiğe Geçiş Problemi ve onun analitik çözümüne ilişkin yaklaşımlar ele alınmıştır. Nagatani T., (1998) trafik akışında sıkışıklığa geçişi termodinamik modele benzeterek tanımlamıştır. Olemskoi A.I. ve diğ., (2001) sıkışık trafiğe geçiş teorisini homojen araç takip modeline Lorenz şemasını kullanarak uygulamıştır. Khomenko A., ve diğ., (2004) Hızlanma/Frenleme zamanındaki dalgalanmaların sıkışık trafiğe geçiş problemine etkisini doğrusal olmayan stokastik dalgalanma modeline dönüştürmüş ve trafik akışında STGP'nin temel eşitliğini tanımlamıştır.

Doğrusal olmayan denklemlerin kesin çözümüne yakınsayan analitik tahmini çözümleri için çeşitli hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, Adomian Ayrıştırma Yöntemi, Homotopi Pertürbasyon Yöntemi, Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi, Parametrelili Pertürbasyon Yöntemi, Varyasyonel İterasyon Yöntemi, Linstedt-Poincare Yöntemi, Parametre Genişletme Yöntemi, Enerji Dengesi Yöntemi, Max-Min Yaklaşımı Yöntemi'dir. Ganji S.S. ve diğ., (2011) doğrusal olmayan stokastik dalgalanma modeline dönüştürülmüş Lorenz sistemini temel alan trafik akış denklemlerinin analitik çözümünü Homotopi Pertürbasyon Yöntemi ve Varyasyonel İterasyon Yöntemini kullanarak bulmuşlardır. Her iki yöntemi Runge-Kutta çözümüyle karşılaştırarak yöntemlerin benzer sonuçlar ürettiğini saptamışlardır. Ganji S.S. ve diğ., (2012) analitik tahmini çözüm için Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi'ni denemiştir. Buna göre Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi'nde doğrusallaştırma veya pertürbasyona gerek kalmamakta, büyük hesaplama yükü ve yuvarlama hataları önlenmektedir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, Trafik Akış Teorisi, ikinci bölümde ise, STGP ve problemin trafik akışına uyarlanması üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde, Adomian Ayrıştırma Yöntemi'nin genel teorisinden bahsedilmiş, doğrusal ve doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerle ilgili birer uygulama örneği verilmiştir. Dördüncü bölümde AAY'nin Sıkışık Trafiğe Geçiş Problemi'ne uyarlanması ve analitik çözümü adım adım ele alınmıştır. Beşinci bölümde yapılan uygulamalar sayısal ve grafiksel olarak sunulmuş ve sonuçlar problemin nümerik çözümü ile diğer üç analitik çözüm yöntemi (DDY, HPY, VİY) sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Son bölümde elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

1. TRAFİK AKIŞ TEORİSİ

Trafik, genel tabiriyle taşıt ve yayaların yol üzerindeki hareketlerinin bütünü olarak bilinir. Bu yolu kullanan taşıt ve yayaların en kısa sürede ve güvenle ulaşmak istedikleri yere varmalarını sağlamak trafik çalışmalarının temel amacını oluşturur.

Trafik akış teorisinde ulaşım sistemine giren ve çıkan araç sayısının eşit olması en beklenen durumdur. Akış değeri (hacim), yoğunluk ve hız arasındaki ilişkilerin kurulması trafik akış teorisinin temel prensibidir.

Bir yoldaki trafiğin akışkanlığı temel olarak üç ana kategoride sınıflandırılabilir. Bunlar:

Akışkan Trafik: Araçların birbiriyle etkileşiminin fazla olmadığı, aralarındaki mesafenin fazla olduğu, sürücülerin trafik içinde rahat davranabildiği trafik durumudur.

Yoğun Trafik: Araçların birbiriyle etkileşiminin akışkan trafiğe göre daha fazla olduğu, araç aralarındaki mesafelerin fazla olmadığı, sürücülerin hareketlerinin kısıtlandığı trafik durumudur.

Tıkalı Trafik: Araçların birbiriyle etkileşiminin maksimumda olduğu, aralarındaki mesafenin en aza indiği, sürücülerin trafik içinde hareket edemediği, hareket etse bile çok kısıtlı miktarda hareket ettiği durumdur (Memiş, 2008).

1.1.Trafik Akış Teorisinde Temel Kavramlar

1.1.1. Akış değişkenleri

Akış değeri (hacim), Q : Hacim yol üzerindeki bir kesitten birim zamanda geçen taşıt sayısıdır. Hacim taşıt/saat birimi ile ifade edilir. Daha kısa zaman aralıklarında yapılan gözlemler ise saatlik değerlere çevrilir.

Zaman cinsinden taşıt takip aralığı, h_t : Bir noktadan geçen taşıtlar arasındaki zaman farkıdır. Birimi saniyedir.

Zaman cinsinden ortalama taşıt takip aralığı, $\overline{h_t}$: Zaman cinsinden takip aralıklarının ortalamasıdır. Akış değeri yardımı ile bulunabilir. Birimi saniye/taşıtlar 'tır.

1.1.2. Yoğunluk değişkenleri

Yoğunluk, k : Bir yol kesimi üzerinde bulunan taşıt sayısıdır. Taşıtlar/km birimi ile gösterilir.

Uzunluk cinsinden taşıt takip aralığı, h_d : Birbirlerini takip eden taşıtların ön tamponları arasındaki mesafedir. Birimi metredir.

Uzunluk cinsinden ortalama taşıt takip aralığı, Bir yol kesimindeki uzunluk cinsinden taşıt takip aralıklarının ortalamasıdır. Birimi metre/taşıtlar 'tır. Zaman cinsinden ortalama takip aralığının hız ile çarpımı, uzunluk cinsinden ortalama takip aralığının yoğunluk ile çarpımına eşittir ($h_t u = h_d k$).

1.1.3. Hız değişkenleri

Zaman anlamlı hız, u_t : Bir yol üzerindeki taşıtların ortalama hızlarına göre belirlenir. Km/saat veya metre/saniye birimi ile gösterilir.

Yolculuk süresi: Taşıtların başlangıç ve son noktaları arasını kat etmek için harcadığı süredir. Bütün taşıtların harcadığı sürelerin toplamı, toplam yolculuk süresini değeri verir.

Toplam yolculuk uzunluğu: Belli bir süre içinde, tüm taşıtların toplam yolculuk süresidir.

Ortalama yolculuk süresi: Toplam yolculuk süresi değerinin taşıtlar sayısına bölünmesi ile elde edilir.

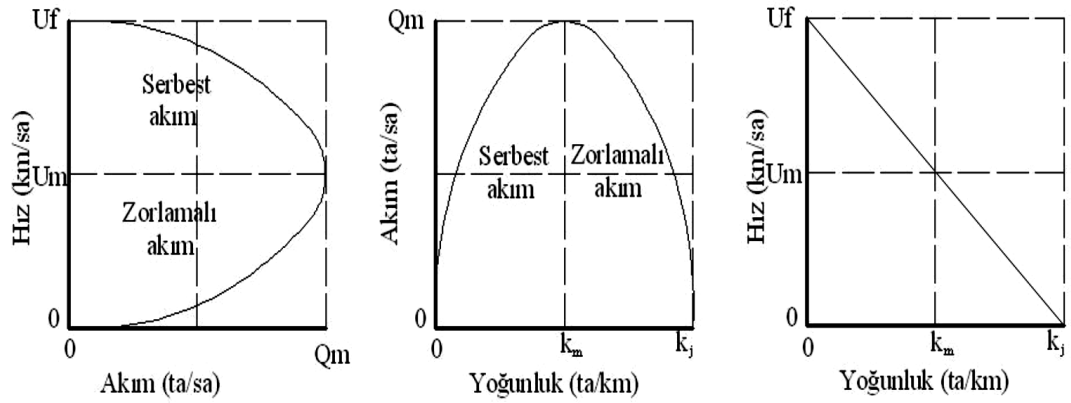
Uzunluk anlamlı hız, u_s : Ortalama yolculuk süresi kullanılarak bulunur. Birimi km/saat veya metre/saniye'dir (Engin, 2010).

1.2. Trafik Akış Teorisinin Temel Bağlantısı

Trafik akış teorisinde akış değişkeni ya da diğer tanımıyla hacim değeri (Q), yoğunluk değeri (k) ve hız değeri (u) çarpılması ile elde edilir.

$$Q = uk \quad (1.1)$$

Şekil 1.1'de akış-hız, yoğunluk-akış ve yoğunluk-hız değişkenleri arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Trafik akış teorisinin üç değişkeni arasındaki ilişkiler

1.2.1. Akış değeri (hacim) – hız ilişkisi

Yoldaki akış değeri arttıkça hız azalacaktır. Hızdaki bu azalma trafik hacminin kapasite değerine ulaşmasına kadar devam eder. Kapasite değerinin bir miktar altında ve üstünde trafik akışı kararsızdır. Trafik hacim değeri kapasite değerinin üzerine çıktığında zorlamalı akış başlar. Bu durumda taşıtların dur-kalk hareketleri artar ve kuyruklanma başlar.

1.2.2. Akış değeri (hacim) – yoğunluk ilişkisi

Bir yoldaki trafik yoğunluğu arttıkça, trafik akış değeri kapasite değerine ulaşmaya kadar artar. Bu noktadan sonra (Q_m) yoğunluk arttıkça trafik akış değeri azalır ve bu azalma k_j tıkanma yoğunluğuna kadar devam eder. Eğri üzerindeki herhangi bir noktayı başlangıca birleştiren doğrunun eğimi taşıtların ortalama hızını verir.

1.2.3. Hız – yoğunluk ilişkisi

Trafik hacmi arttıkça hız düşecektir. Başlangıçta kabul edilen en düşük hacim değerinde hız en yüksek değerde olacaktır. Yoğunluğun sıfır olduğu noktadaki hıza serbest hız denir (Engin, 2010).

1.3.Trafik Akış Modelleri

Trafik akışında modelleme yaklaşımı genelde üç ana başlıkta ele alınmaktadır.

1.3.1. Makroskobik modeller

Makroskobik modeller, trafikte sürekli akış halinde olan araçları tek bir ölçekte inceler. Araçlar ve onların trafikteki davranışları tek başına ele alınmaz. Trafik akışı yoğunluk, hacim ve ortalama hız gibi makroskobik değerler ile karakterize edilir. Bu modellerde trafik akışı genellikle akışkanlar dinamiği çerçevesinde sürekli sıvı akışına benzetilir. Makroskobik model ile trafik akış modellemesini ilk olarak iki İngiliz bilimci Lighthill ve Whitham (1955) ele almıştır. Prigogine ve Herman (1971) aynı Boltzmann gibi trafik akışını gazların kinetik teorisi şeklinde ele almıştır. Bu teoride trafikteki araçlar birer molekül olarak düşünülmüştür. Gaz molekülleri ile araçlar arasındaki fark ise, moleküller üç boyutlu uzayda, araçlar ise sadece tek boyutlu bir yol üzerinde hareket etmektedir. May ve Keller (1967) ve Kühne (1984) trafik akışını suyun hareketine benzeterek sürekli akış modelini literatüre eklemişlerdir. Trafik akışını modellemek için çeşitli benzetim ve stokastik modeller ileriki yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından öne sürülmüştür (Richards, 1956; Prigogine, 1971; Payne, 1971).

1.3.2. Mikroskobik modeller

Mikroskobik model yaklaşımında, her aracın trafikteki etkileşimi ve davranışı tek tek dikkate alınır. Genelde, mikroskobik modeller Cellular Automata (hüresel otomata) modelini esas alır. Çeşitli çalışmalarda Cellular Automata yaklaşımı farklı şekillerde ele alınmıştır. Araç takip yaklaşım modeli Reuschel ve diğ. (1959), Montrol ve diğ., (1959), Kometani ve Sasaki (1958) tarafından kullanılmıştır. Gerçekte araç hareketleri (hızlanma, yavaşlama) iki araç arasında zamanla göreceli hıza göre oluşan mesafeye

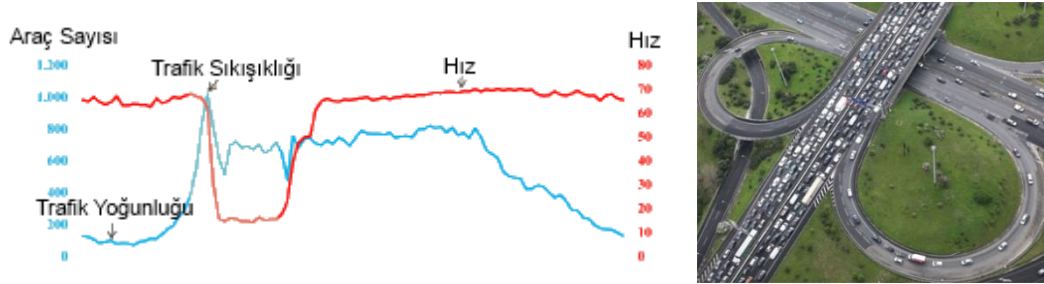
bağlıdır. Modeldeki araç hareketleri ise, araçlar arasındaki mesafeden bağımsız kararlı durumda olduğu varsayımıyla ele alınmıştır.

1.3.3. Mezokobik modeller

Mezokobik ölçek, tekil atom davranışlarını ve yoğunluk, sıcaklık gibi ortalamalar kavramlarını tartışmaksızın bir materyal veya olayın özelliklerini makul bir biçimde ifade etmede faydalı bir uzunluk ölçeğidir. Trafik akışının modellenmesinde mezokobik ölçek aslında mikroskobik ve makroskobik ölçek arasında bir yerdedir. Kısaca tanımlamak gerekirse mikroskobik ölçeğin makroskobik olarak ele alınması denilebilir. K.T. Waldeer, mekansal homojen araç trafik akışı modelini, hızlanma değişkenini Boltzmann tarzı stokastik ana denklemi şeklinde ele alarak özel bir sürücü etkileşim modeli için sayısal olarak çözmüştür. Çözüm dengede olmayan gaz kinetiğinde sık kullanıma sahip değiştirilmiş direk Monte-Carlo benzetim metodu ile yapılmıştır. Stokastik dengede hız ve hızlanma dağılım fonksiyonları, ortalama hız, trafik yoğunluğu, hızlandırılmış gürültü, hız saçılımı ve bu değişkenlerin bazıları arasındaki korelasyon ve araç yoğunluk bağımlılığı mezokobik model yardımıyla bulunabilir (Waldeer, 2004).

2. TRAFİK AKIŞINDA SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİ

Trafik sıkışıklığı, yükselen araç yoğunluğu ile birlikte yoğunluğun kritik değeri aşması nedeniyle serbestçe hareket eden trafiğin, sıkışık duruma geçmesi demektir. Sıkışık trafikle birlikte düzenli devam eden trafik akışı düzensiz hale dönüşür. Düzenli ve düzensiz hareket eden trafik sırasıyla geleneksel gaz-sıvı faz geçişine benzemektedir (Nagatani, 1998; Olemskoi, 2001). İlerleme veya araç yoğunluğu hacim ya da yoğunluğa ve gecikme zamanının tersi de sıcaklığa benzetilebilir. Gaz-sıvı faz geçişinin özellikleri ile trafik akışı arasındaki bu benzetim trafik akışının modellenmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 2.1'de araç sayısı ile hız arasındaki ilişkinin trafik sıkışıklığına etkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Araç yoğunluğunun trafik sıkışıklığına ve trafik akış hızına etkisi

Temel olarak, trafik akışı mikroskobik ve makroskobik model olmak üzere iki ölçekte ele alınmaktadır. Mikroskobik ölçek aynı bir büyüteç gibi trafikteki araçları tek tek inceleyen yöntemlerden oluşur. Makroskobik ölçek ise tüm sistemin ortalama değerlerini kullanarak modelleyen yöntemleri kapsar. Trafik sıkışıklığı, karmaşık trafik akışının en önemli problemi olan mikroskobik bir modeldir (Ganji ve diğ., 2011).

Son zamanlarda trafik sıkışıklığı probleminin çözümü için çeşitli yaklaşımlar öne atılmıştır. Termodinamik yaklaşım, stokastik problemler, hidrodinamik ve/veya kinetik teoriler, trafik sıkışıklığını modelleyebilmek amacıyla öne sürülmüş bazı yaklaşımlardır. Khomenko ve diğ., (2004) trafik sıkışıklığı problemini Lorenz sistemiyle ele alarak üçüncü dereceden doğrusal olmayan korunumsuz sarkaç modeline dönüştürmüşlerdir.

Basit bir araç takip modelinde, herhangi aracın önündeki araca göre mesafesi Δ_x olarak kabul edildiğinde hızlanma V ,

$$V = [v_{opt}(\Delta_x) - V] / t \quad (2.1)$$

olarak gösterilir. Burada; $v_{opt}(\Delta_x) = \Delta_x / t_0$, en uygun hız fonksiyonu (t_0 , karakteristik zaman aralığı), $h = Vt_0$, en uygun ilerleme, τ ise bir aracın en uygun hızda ilerlemesi için gerekli hızlanma/frenleme zamanıdır. Δ_x mesafesinde bir ilerleme ve en uygun h ve $h / t_0 - V$ hız değeri için,

$$\eta \equiv |\Delta_x - h| \quad (2.2)$$

$$v \equiv \Delta_x - h / t_0 + V \quad (2.3)$$

denklemleri yazılabilir. Böylece araçların trafikteki akışı η , v ve τ değerleri ile tanımlanır. Basit bir yaklaşımla η , v ve τ değerleri zamana bağlı $\eta(t)$, $v(t)$ ve $\tau(t)$ olarak Lorenz sistemine göre tekrardan ele alındığında,

$$\dot{\eta} = -\eta / t_\eta + v \quad (2.4)$$

$$\dot{v} = -v / t_v + g_v \tau \eta \quad (2.5)$$

$$\dot{\tau} = (\tau_0 - \tau) / t_\tau - g_\tau \eta v + \lambda(t) \quad (2.6)$$

elde edilir. Burada η , ilerleme sapmasını, τ , hız sapması v için hızlanma/frenleme zamanını, üstü noktalı terimler, zamana bağlı terimleri, t_η , t_v , ve t_τ , uygun rahatlama zamanlarını, g_v ve g_τ ise sabit terimleri ifade etmektedir.



Şekil 2.2. Trafik sıkışıklığında hızlanma/frenleme dengesi

Bu denklem sistemi hızlanma/frenleme zamanındaki dalgalanmaları dikkate almamaktadır. Denklem (2.4) ve (2.6)'nın analitik çözümü yoktur. Bu nedenle $t_\eta \gg t_\tau$ ve $t_\eta \approx t_v$ şeklinde $\dot{t}_\tau \approx 0$ anlamına gelen basit varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar (2.6) denklemini,

$$\tau = \tau_0 - g_\tau t_\tau \eta v \quad (2.7)$$

eşitliğine dönüştürür. Şimdi doğal ölçek faktörü t_τ , $\eta_m = (g_v g_\tau t_\tau t_\eta)^{-1/2}$, $v_m = t_\eta^{-3/2} (g_v g_\tau t_\tau)^{-1/2}$ ve $\tau_c = (g_v t_\eta^2)^{-1}$ zaman, ilerleme sapması, hız sapması ve hızlanma/frenleme zamanı için sırasıyla tanımlanabilir. Denklem (2.7) Denklem (2.5)'de yerine yazılırsa Denklem (2.4) ve (2.6) aşağıdaki doğrusal olmayan stokastik salınım (Khomenko ve dig., 2004) denklemine dönüşür.

$$\ddot{\eta} + \dot{\eta}(1 + \sigma + \eta^2) - \eta(\varepsilon - \sigma) - \eta^3 = 0 \quad (2.8)$$

Burada $\sigma \equiv t_\eta / t_v$ ve $\varepsilon \equiv \tau_0 / \tau_c$ 'dir. Denklem (2.8)'de 3. dereceden doğrusal olmayan terim olmasından dolayı denklemin kesin çözümüne ulaşmak çok zordur veya imkansızdır. Bu nedenle denklem için kesin çözüme yakınsayan çeşitli nümerik ve analitik yöntemler kullanılabilir.

3. ADOMIAN AYRIŞTIRMA YÖNTEMİ (AAY)

Ayrıştırma yöntemi 1980'lerin başında George Adomian tarafından keşfedilmiştir. Bu yöntem çözümü analitik çözüme hızla yaklaşan sonsuz bir seri toplamı olarak verir. AAY, doğrusal olmayan denklemlerin çözümünde kullanılan diğer klasik yöntemlere göre daha uygulanması kolay ve kullanışlı olan yöntemlerden birisidir (Demirci, 2010). Herhangi bir diferansiyel denklem,

$$Lu + Ru + Nu = g(x) \quad (3.1)$$

şeklinde gösterelim. Burada u bilinmeyen, L en yüksek mertebeden doğrusal türev operatörü, R bir diferansiyel operatör olup, mertebesi L 'nin mertebesinden küçüktür. Nu , u 'ya göre doğrusal olmayan terim, g ise kaynak fonksiyondur. L 'nin ters operatörü L^{-1} mevcut olduğunu varsayarsak Denklem (3.1) çözümü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u = f(x) - L^{-1}(Ru) - L^{-1}(Nu) \quad (3.2)$$

Burada f fonksiyonu g 'nin integrali ile bir polinomun toplamına eşit olup, polinomun derecesi L 'nin mertebesinin bir eksiğinden büyük olamamaktadır. AAY'de denklem sonsuz seri toplamı şeklinde elde edilmektedir. Buna göre,

$$u(x) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n(x) \quad (3.3)$$

olarak kabul edilir. Nu doğrusal olmayan terimin çözümü içinse,

$$Nu = \sum_{n=0}^{\infty} A_n(u_0, u_1, \dots, u_n) \quad (3.4)$$

denklemini kullanılır. A_n terimleri doğrusal olmayan kısmın çözümü için kullanılan Adomian polinomlarıdır. A_n , u_0 'dan u_n 'e kadar olan tüm çözümlerin toplamı şeklindedir. Adomian polinomları kısaca,

$$A_n = \frac{1}{n!} \frac{d^n}{d\lambda^n} N \left(\sum_{k=0}^{\infty} \lambda^k u_k \right), \quad n > 0 \quad (3.5)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. $Nu = F(u)$ varsayımıyla Adomian polinomlarının ilk beş terimi aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$A_0 = F(u_0) \quad (3.6)$$

$$A_1 = u_1 F'(u_0) \quad (3.7)$$

$$A_2 = u_2 F'(u_0) + \frac{1}{2!} u_1^2 F''(u_0) \quad (3.8)$$

$$A_3 = u_3 F'(u_0) + u_1 u_2 F''(u_0) + \frac{1}{3!} u_1^3 F'''(u_0) \quad (3.9)$$

$$A_4 = u_4 F'(u_0) + \left(\frac{1}{2!} u_2^2 + u_1 u_3 \right) F''(u_0) + \frac{1}{2!} u_1^2 u_2 F'''(u_0) + \frac{1}{4!} u_1^4 F^{(iv)}(u_0) \quad (3.10)$$

Denklem (3.3) Denklem (3.1)'de yerine koyarak aşağıdaki bağıntıları elde edebiliriz.

$$u_0(x) = F(x), \quad (3.11)$$

$$u_{n+1}(x) = -L^{-1} [Ru_n - A_n], \quad n \geq 0 \quad (3.12)$$

Denklem (3.11) ve (3.12) elde edildikten sonra Denklem (3.3)'deki genel Adomian ayrıştırma çözümüne ulaşılır (Demirci, 2010).

3.1.Uygulama: Doğrusal Bir Denklemin Çözümü

$u(0) = A$ ve $u'(0) = B$ şeklinde başlangıç koşulları verilen,

$$e^x u'' + xu = 0 \quad (3.13)$$

doğrusal diferansiyel denklemini AAY'ne göre çözmek istediğimizde ilk olarak L_{xx} operatörü ile denklemi yeniden düzenleriz.

$$L_{xx} u = -xe^{-x}u \quad (3.14)$$

L_{xx} operatörü ikinci türevi temsil eder ve tersi de iki kez integral almak anlamına gelir. Başlangıç koşullarını dikkate alarak L_{xx} operatörünü denkleme uyguladığımızda,

$$u(x) = A + Bx - L_{xx}^{-1} \left(xe^{-x}u \right) \quad (3.15)$$

elde ederiz. Denklem (3.3)'e göre AAY'nin kullanılması $u(x)$ çözümünün sonsuz seri şeklinde elde edilmesi anlamına gelmektedir. Denklem (3.15) Denklem (3.3)'e uyguladığımızda çözümü aşağıdaki formda elde ederiz.

$$\sum_{n=0}^{\infty} u_n(x) = A + Bx - L_{xx}^{-1} \left(xe^{-x} \sum_{n=0}^{\infty} u_n(x) \right) \quad (3.16)$$

Adomian yönteminde çözümün sıfırcı dereceden terimi genellikle başlangıç koşullarının değerini almaktadır. O halde, uygulamaya ait denklemin çözümüne ait serinin sıfırcı ve sıfırdan büyük mertebeli terimleri için aşağıdaki bağıntılar türetilir.

$$u_0(x) = A + Bx, \quad (3.17)$$

$$u_{k+1}(x) = -L_{xx}^{-1} \left(xe^{-x} \sum_{n=0}^{\infty} u_k(x) \right), \quad k \geq 0 \quad (3.18)$$

Buna göre,

$$u_0(x) = A + Bx, \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} u_1(x) &= -L_{xx}^{-1} \left(xe^{-x}u_0 \right) = -L_{xx}^{-1} \left(A \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} x^{n+1} + B \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} x^{n+2} \right) \\ &= -A \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n+3)(n+2)n!} x^{n+3} - B \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n+4)(n+3)n!} x^{n+4} \\ &= -A \left(\frac{1}{6} x^3 + \frac{1}{12} x^4 + \frac{1}{40} x^5 - \dots \right) - B \left(\frac{1}{12} x^4 + \frac{1}{20} x^5 + \frac{1}{60} x^6 - \dots \right) \end{aligned} \quad (3.20)$$

ifadeleri elde edilir. Denklem (3.19) ve (3.20) ye göre seri şeklindeki çözüm,

$$u(x) = A \left(1 - \frac{1}{6}x^3 + \frac{1}{12}x^4 - \frac{1}{40}x^5 + \dots \right) + B \left(x - \frac{1}{12}x^4 + \frac{1}{20}x^5 - \frac{1}{60}x^6 + \dots \right) \quad (3.21)$$

olarak meydana gelir. (3.21) eşitliği çözülen denklemin analitik tahmini sonucunu vermektedir. Daha hassas sonuç elde etmek için çözüme ait seri toplamında daha fazla terim elde etmek gerekir. Analitik çözüm için eklenen her derece çözümün hassasiyetini artırırken hesap yükünü de artırmaktadır. Bu nedenle çözümün derecesine karar verirken çözümden beklenen hassasiyete iyi karar vermek gerekmektedir.

3.2.Uygulama: Doğrusal Olmayan Bir Denklemin Çözümü

Doğrusal olmayan bir adi diferansiyel denklem Eşitlik (3.22)'de verildiği gibi olsun.

$$y' = \frac{y^2}{1-xy}, \quad y(0) = 1 \quad (3.22)$$

Denklem (3.22) L_x operatörü ile yeniden düzenlenirse,

$$L_x y = xyy' + y^2, \quad y(0) = 1, \quad (3.23)$$

L_x doğrusal adi diferansiyel operatör $\frac{d}{dx}$ ve L_x^{-1} integral operatör ise,

$$L_x^{-1}(\cdot) = \int_0^x (\cdot) dx \quad (3.24)$$

L_x^{-1} integral operatörünü ve başlangıç koşulunu Denklem (3.23)'da her iki tarafa da uygularsak,

$$y(x) = 1 + L_x^{-1}(xyy') + L_x^{-1}(y^2) \quad (3.25)$$

AAY ile doğrusal olmayan terimler yy' ve y^2 seri toplamı şeklinde ayrı ayrı açılır.

$$yy' = \sum_{n=0}^{\infty} A_n, \quad (3.26)$$

$$y^2 = \sum_{n=0}^{\infty} B_n, \quad (3.27)$$

Burada A_n ve B_n , adomian polinomları olarak bilinmektedir ve aşağıda ilk üç terimi gösterilmiştir.

$$A_0 = y_0 \dot{y}_0, \quad A_1 = y_0 \dot{y}_1 + y_1 \dot{y}_0, \quad A_2 = y_0 \dot{y}_2 + y_1 \dot{y}_1 + y_2 \dot{y}_0, \dots \quad (3.28)$$

$$B_0 = y_0^2, \quad B_1 = 2y_0 y_1, \quad B_2 = 2y_0 y_2 + y_1^2, \dots \quad (3.29)$$

Denklem (3.28) ve (3.29) Denklem (3.3) esas alınarak Denklem (3.25)'de yerine koyulursa,

$$\sum_{n=0}^{\infty} y_n(x) = 1 + L_x^{-1} \left(\sum_{n=0}^{\infty} x A_n \right) + L_x^{-1} \left(\sum_{n=0}^{\infty} B_n \right) \quad (3.30)$$

$n=0,1,2,\dots,\infty$ olmak üzere Denklem (3.30) yardımıyla $y_n(x)$ fonksiyonu,

$$y_0 = 1, \quad y_{k+1} = L_x^{-1}(xA_k) + L_x^{-1}(B_k), \quad k \geq 0 \quad (3.31)$$

şeklinde elde edilir. Çözüm dördüncü mertebeye kadar sürdürüldüğünde,

$$y_0 = 1, \quad y_1 = L_x^{-1}(xA_0) + L_x^{-1}(B_0) = x, \quad y_2 = L_x^{-1}(xA_1) + L_x^{-1}(B_1) = \frac{3}{2}x^2, \\ y_3 = L_x^{-1}(xA_2) + L_x^{-1}(B_2) = \frac{8}{3}x^3, \quad y_4 = L_x^{-1}(xA_3) + L_x^{-1}(B_3) = \frac{125}{24}x^4 \quad (3.32)$$

Denklem (3.22)'in AAY ile analitik tahmini çözümü seri formunda aşağıda verildiği gibi elde edilir.

$$y(x) = 1 + x + \frac{3}{2}x^2 + \frac{8}{3}x^3 + \frac{125}{24}x^4 + \dots \quad (3.33)$$

4. YÖNTEMİN SIKIŞIK TRAFİĞE GEÇİŞ PROBLEMİNE UYARLANMASI

Adomian Ayırıştırma Yöntemi'nin STGP'ne uygulanması için öncelikle STGP'nin temel eşitliği olan Denklem (2.8)'de $\ddot{\eta}$ yalnız bırakılmalıdır.

$$\ddot{\eta} = -\left[(1+\sigma)\dot{\eta} + (\sigma-\varepsilon)\eta + \dot{\eta}\eta^2 + \eta^3\right] \quad (4.1)$$

L_{xx} operatörünü $\frac{d^2}{dt^2}$ olarak kabul edersek, $L_{xx}^{-1} = \int_0^t \int_0^t dt dt$ olur. (4.1) denklemini L_{xx}

operatörü ile yeniden düzenleyerek çözersek,

$$L_{xx}^{-1}L_{xx}\eta = -L_{xx}^{-1}\left[(1+\sigma)\dot{\eta} + (\sigma-\varepsilon)\eta + \dot{\eta}\eta^2 + \eta^3\right] \quad (4.2)$$

ifadesini elde ederiz. Denklem (2.8) $\eta(0) = A$ ve $\dot{\eta}(0) = 0$ başlangıç koşulları ile yeniden ele alarak çözümü aşağıdaki forma indiririz.

$$\eta - \eta(0) - t\dot{\eta}(0) = -L_{xx}^{-1}\left[(1+\sigma)\dot{\eta} + (\sigma-\varepsilon)\eta + \dot{\eta}\eta^2 + \eta^3\right] \quad (4.3)$$

$$\eta = A - L_{xx}^{-1}\left[(1+\sigma)\dot{\eta} + (\sigma-\varepsilon)\eta + \dot{\eta}\eta^2 + \eta^3\right] \quad (4.4)$$

Denklem (4.4) doğrusal ve doğrusal olmayan kısımlarına ayırdığımızda,

$$\eta = A - L_{xx}^{-1}\left[(1+\sigma)\dot{\eta} + (\sigma-\varepsilon)\eta\right] - L_{xx}^{-1}\left[\dot{\eta}\eta^2\right] - L_{xx}^{-1}\left[\eta^3\right] \quad (4.5)$$

$\dot{\eta}\eta^2$ ve η^3 denklemin doğrusal olmayan terimleridir. AAY'nde doğrusal olmayan kısımlar Adomian polinomları yardımıyla çözülür. Denklem (4.5)'de doğrusal olmayan kısımlar için Adomian polinom eşitlikleri yazılarak denklem yeniden düzenlendiğinde çözümü oluşturacak sonsuz seri aşağıdaki terimlerin toplanması ile türetilir.

$$\sum_{n=0}^{\infty} \eta_n(x) = \eta_0(x) + L_{xx}^{-1}\left(\sum_{n=0}^{\infty} A_n\right) + L_{xx}^{-1}\left(\sum_{n=0}^{\infty} B_n\right) \quad (4.6)$$

Denklem (4.6) sonsuz sayıda terimin birleşiminden oluşan bir seridir. Pratikte sonsuz sayıda terim elde etmek mümkün olmadığından, denklemin çözümü için belirli sayıda terim elde edilir. Eklenen her fazla terim için analitik tahmini çözüm problemin gerçek çözümüne daha da yakınsar, ancak problemin bilgisayar yardımıyla çözümü çok fazla sayıda terim elde edilmek istenirse daha fazla zaman alacaktır. Bu nedenle bir problemde beklenen hassasiyeti sağlayacak dereceye kadar terim elde etmek suretiyle çözüme gitmek en uygun yaklaşımdır. Çalışmada problem en fazla 9. Mertebe terim elde edilinceye kadar çözülmüştür. Problemin çözümü Wolfram Mathematica programı yardımıyla yapılmıştır. Aşağıda problemin çözümünde elde edilen bazı Adomian polinomları görülmektedir.

$$A_0 = \eta_0^2 \eta_0' \quad (4.7)$$

$$A_1 = \eta_0 (2\eta_1 \eta_0' + \eta_0 \eta_1') \quad (4.8)$$

$$A_2 = (\eta_0' \eta_1^2 + 2\eta_0 \eta_1' \eta_1 + \eta_0 (2\eta_2 \eta_0' + \eta_0 \eta_2')) \quad (4.9)$$

$$A_3 = (\eta_1' \eta_1^2 + 2(\eta_2 \eta_0' + \eta_0 \eta_2') \eta_1 + \eta_0 (2\eta_3 \eta_0' + 2\eta_2 \eta_1' + \eta_0 \eta_3')) \quad (4.10)$$

$$A_4 = \left(\begin{array}{l} \eta_2' \eta_1^2 + 2(\eta_3 \eta_0' + \eta_0 \eta_3') \eta_1 + \eta_2^2 \eta_0' + 2\eta_2 (\eta_1 \eta_1' + \eta_0 \eta_2') \\ + \eta_0 (2\eta_4 \eta_0' + 2\eta_3 \eta_1' + \eta_0 \eta_4') \end{array} \right) \quad (4.11)$$

$$B_0 = \eta_0^3 \quad (4.12)$$

$$B_1 = 3\eta_0^2 \eta_1 \quad (4.13)$$

$$B_2 = 3\eta_0 (\eta_1^2 + \eta_0 \eta_2) \quad (4.14)$$

$$B_3 = (\eta_1^3 + 6\eta_0 \eta_2 \eta_1 + 3\eta_0^2 \eta_3) \quad (4.15)$$

$$B_4 = 3(\eta_2 \eta_1^2 + 2\eta_0 \eta_3 \eta_1 + \eta_0 (\eta_2^2 + \eta_0 \eta_4)) \quad (4.16)$$

Adomian polinomları elde edildikten sonra problemin çözümü için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$\eta_0(x) = A, \quad (4.17)$$

$$\eta_{n+1}(x) = -L_{xx}^{-1}[(1+\sigma)\dot{\eta}_n + (\sigma - \varepsilon)\eta_n] - L_{xx}^{-1}\left(\sum_{n=0}^{\infty} A_n\right) - L_{xx}^{-1}\left(\sum_{n=0}^{\infty} B_n\right), \quad (4.18)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, \infty$$

Denklem (4.18)'dan yeteri kadar terim elde edildiğinde, Sıkışık Trafığe Geçiş Probleminin temel eşitliği olan Denklem (2.8)'in AAY ile analitik tahmini çözümü elde edilir. 5. Mertebeye kadar terimler ve çözüm aşağıda verilmektedir.

$$\eta_0 = A \quad (4.19)$$

$$\eta_1 = -\frac{1}{2}A^3t^2 + \frac{1}{2}At^2\varepsilon - \frac{1}{2}At^2\sigma \quad (4.20)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{6}A^3t^3(A^2 - \varepsilon + \sigma) \dots \quad (4.21)$$

$$\eta_3 = -\frac{1}{120}A^3t^4(A^2 - \varepsilon + \sigma) \dots \quad (4.22)$$

$$\eta_4 = -\frac{1}{5040}A(A^2 - \varepsilon + \sigma) \dots \quad (4.23)$$

$$\eta_5 = -\frac{1}{40320}A^3(A^2 - \varepsilon + \sigma) \dots \quad (4.24)$$

Analitik tahmini çözüm bu terimlerin toplamı yardımıyla elde edilir.

$$\eta(x) = \eta_0 + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 \quad (4.25)$$

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmadaki sayısal uygulamalar Wolfram Mathematica ile gerçekleştirilmiştir. Bir önceki bölümde Denklem (4.25) ile elde edilen analitik çözüm için bazı parametrelerin sayısal değerlerine ihtiyaç vardır. Bu parametrelere ait farklı değerler, her bir değer grubu mod olarak isimlendirilmek suretiyle Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. ε , σ ve t parametrelerinin farklı değerleri için modlar (Ganji, 2011)

Mod	ε	σ	t
1	0,25	0,75	0,25
2	0,75	2,50	0,50
3	3,25	0,75	0,75
4	2,00	0,75	1,00

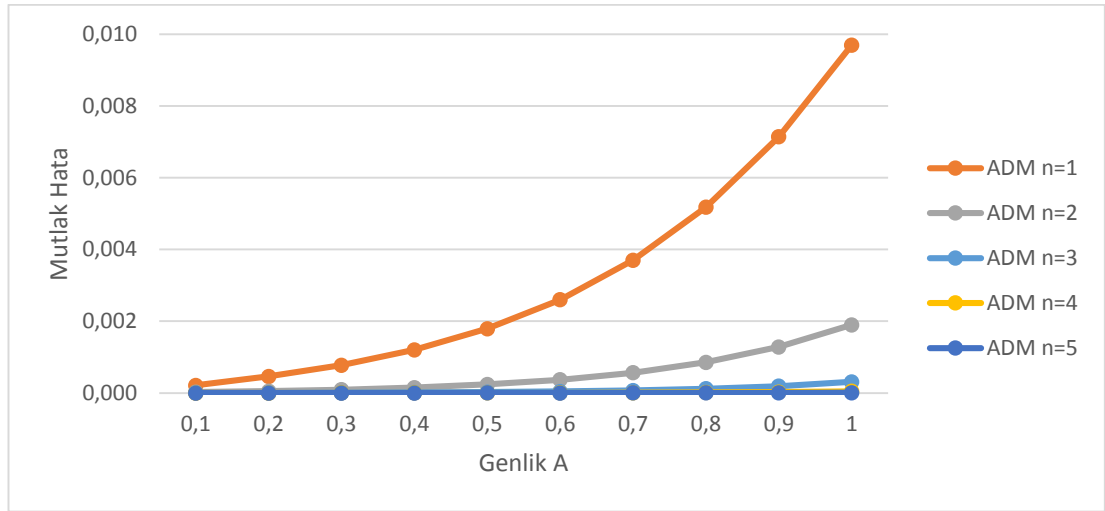
Problem AAY ile birinci mertebeden beşinci mertebeye kadar dört farklı mod için de çözülmüş ve çözüm (2.8) denkleminin nümerik çözümüyle karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.2. Mod 1 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması

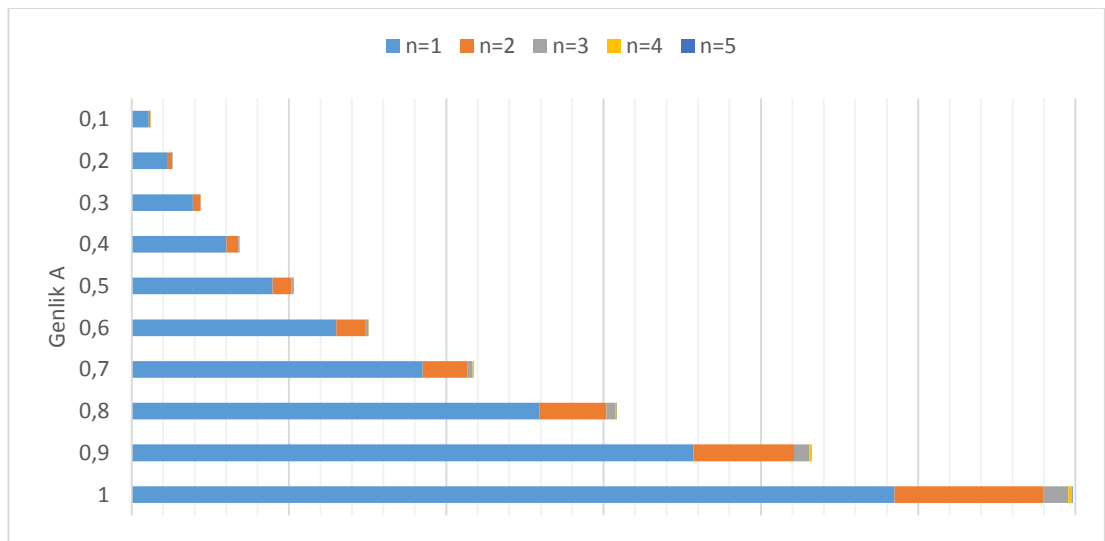
Çözüm No	A	Nümerik	AAY _{n=1}	AAY _{n=2}	AAY _{n=3}	AAY _{n=4}	AAY _{n=5}
1	0,1	0,098620	0,098406 (0,000214)	0,098644 (0,000024)	0,098618 (0,000002)	0,098620 (0,000000)	0,098620 (0,000000)
2	0,2	0,197086	0,196625 (0,000461)	0,197139 (0,000053)	0,197081 (0,000005)	0,197086 (0,000000)	0,197086 (0,000000)
3	0,3	0,295246	0,294469 (0,000777)	0,295339 (0,000093)	0,295237 (0,000009)	0,295247 (0,000001)	0,295246 (0,000000)
4	0,4	0,392954	0,391750 (0,001204)	0,393105 (0,000151)	0,392939 (0,000015)	0,392955 (0,000001)	0,392954 (0,000000)
5	0,5	0,490073	0,488281 (0,001792)	0,490311 (0,000238)	0,490047 (0,000026)	0,490075 (0,000002)	0,490072 (0,000001)
6	0,6	0,586474	0,583875 (0,002599)	0,586843 (0,000369)	0,586432 (0,000042)	0,586479 (0,000005)	0,586474 (0,000000)
7	0,7	0,682044	0,678344 (0,003700)	0,682608 (0,000564)	0,681973 (0,000071)	0,682052 (0,000008)	0,682043 (0,000001)
8	0,8	0,776680	0,771500 (0,005180)	0,777535 (0,000855)	0,776563 (0,000117)	0,776695 (0,000015)	0,776679 (0,000001)
9	0,9	0,870297	0,863156 (0,007141)	0,871579 (0,001282)	0,870105 (0,000192)	0,870323 (0,000026)	0,870294 (0,000003)
10	1,0	0,962824	0,953125 (0,009699)	0,964722 (0,001898)	0,962511 (0,000313)	0,962872 (0,000048)	0,962817 (0,000007)

Nümerik çözüm Wolfram Mathematica programında halihazırda bulunan NDSolve fonksiyonu yardımıyla yapılmıştır. Programa ait kodlamaya EK-A'da ulaşabilirsiniz.

Tablo 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'de AAY ile bulunan analitik tahmini çözümün $n=1,2,3,4,5$ için Tablo 5.1'deki modlar dikkate alınarak bulunan sayısal değerleri NDSolve fonksiyonu yardımıyla bulunan nümerik değerler ile karşılaştırılmıştır. A Genlik değeri 0-1 aralığında 0,1 adım değeri ile artırılarak seçilmiştir. Tablolarda koyu renkte yazılmış alanlar nümerik çözümle AAY çözümü arasındaki mutlak hata değerleridir. Şekil 5.1,5.3,5.5 ve 5.7'de 4 tipik değer için mutlak hatalar gösterilmiştir. Şekil 5.2,5.4,5.6 ve 5.8'de yine dört mod için toplam mutlak hatalar gösterilmiştir.



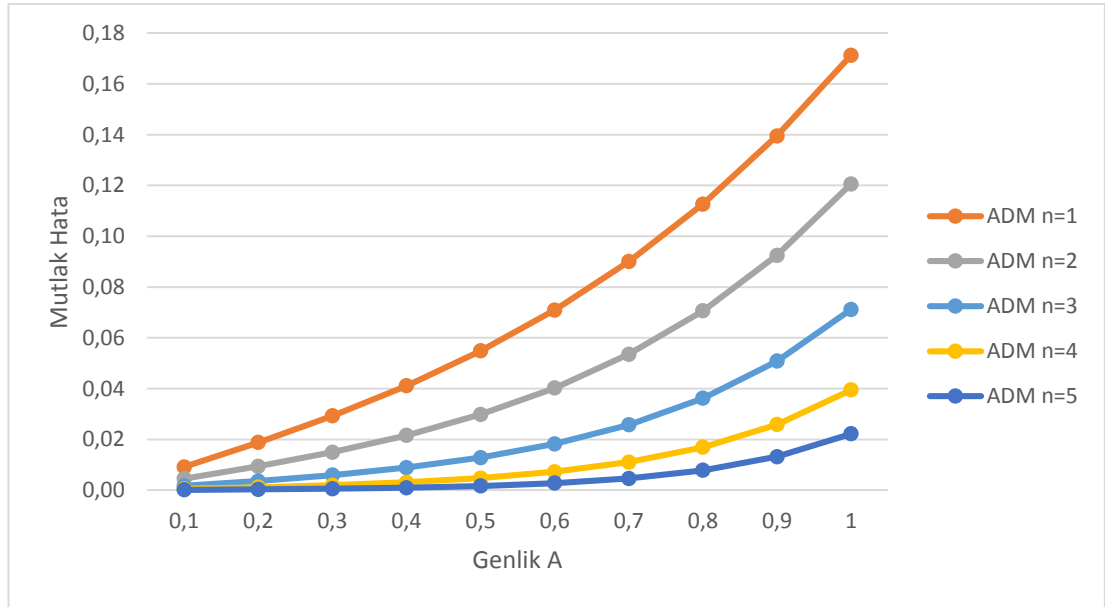
Şekil 5.1. Mod 1 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar



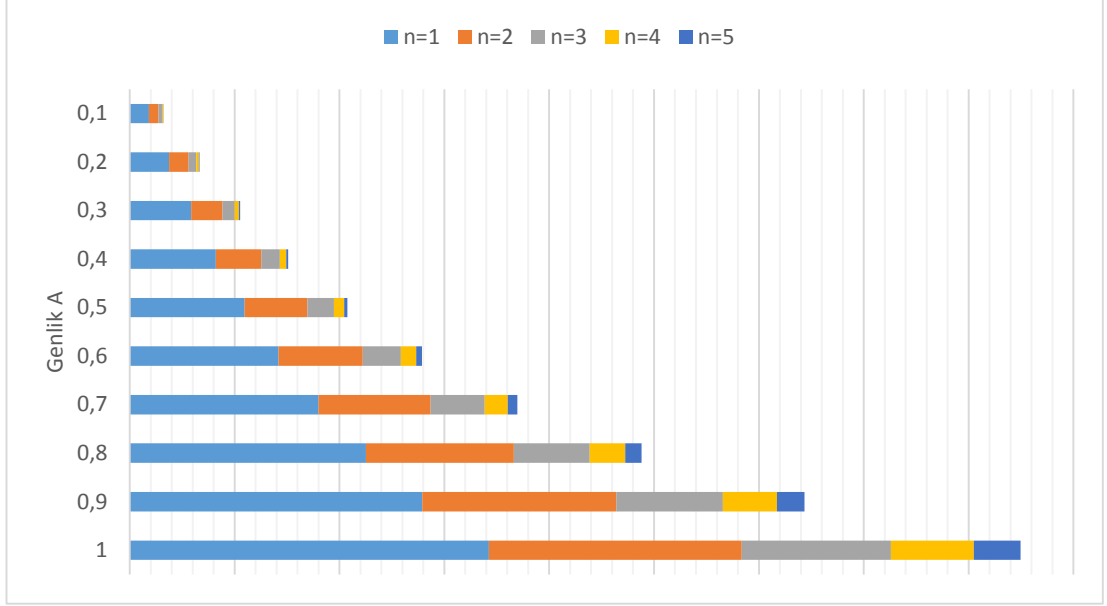
Şekil 5.2. Mod 1 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı

Tablo 5.3. Mod 2 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması

Çözüm No	A	Nümerik	AAY _{n=1}	AAY _{n=2}	AAY _{n=3}	AAY _{n=4}	AAY _{n=5}
1	0,1	0,087166	0,078000 (0,009166)	0,091686 (0,004520)	0,085448 (0,001717)	0,087699 (0,000533)	0,087025 (0,000141)
2	0,2	0,174021	0,155250 (0,018771)	0,183396 (0,009375)	0,170401 (0,003620)	0,175172 (0,001151)	0,173705 (0,000316)
3	0,3	0,260266	0,231000 (0,029266)	0,275189 (0,014923)	0,254350 (0,005916)	0,262221 (0,001955)	0,259695 (0,000571)
4	0,4	0,345620	0,304500 (0,041120)	0,367192 (0,021572)	0,336754 (0,008866)	0,348704 (0,003084)	0,344646 (0,000974)
5	0,5	0,429830	0,375000 (0,054830)	0,459635 (0,029805)	0,417019 (0,012811)	0,434574 (0,004744)	0,428194 (0,001636)
6	0,6	0,512679	0,441750 (0,070929)	0,552888 (0,040209)	0,494464 (0,018215)	0,519921 (0,007242)	0,509932 (0,002747)
7	0,7	0,593987	0,504000 (0,089987)	0,647488 (0,053501)	0,568275 (0,025712)	0,605037 (0,011050)	0,589361 (0,004626)
8	0,8	0,673617	0,561000 (0,112617)	0,744184 (0,070567)	0,637441 (0,036176)	0,690500 (0,016883)	0,665810 (0,007807)
9	0,9	0,751472	0,612000 (0,139472)	0,843960 (0,092488)	0,700680 (0,050792)	0,777295 (0,025823)	0,738293 (0,013179)
10	1,0	0,827500	0,656250 (0,171250)	0,948079 (0,120579)	0,756328 (0,071172)	0,866980 (0,039480)	0,805290 (0,022210)



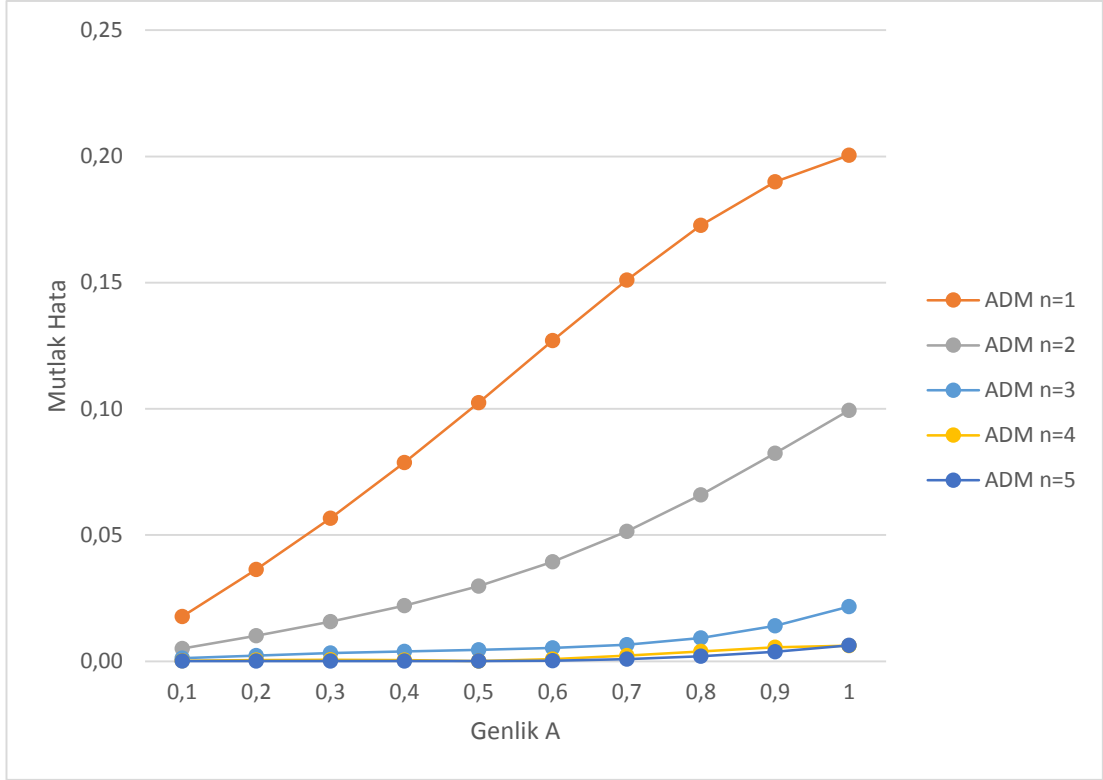
Şekil 5.3. Mod 2 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar



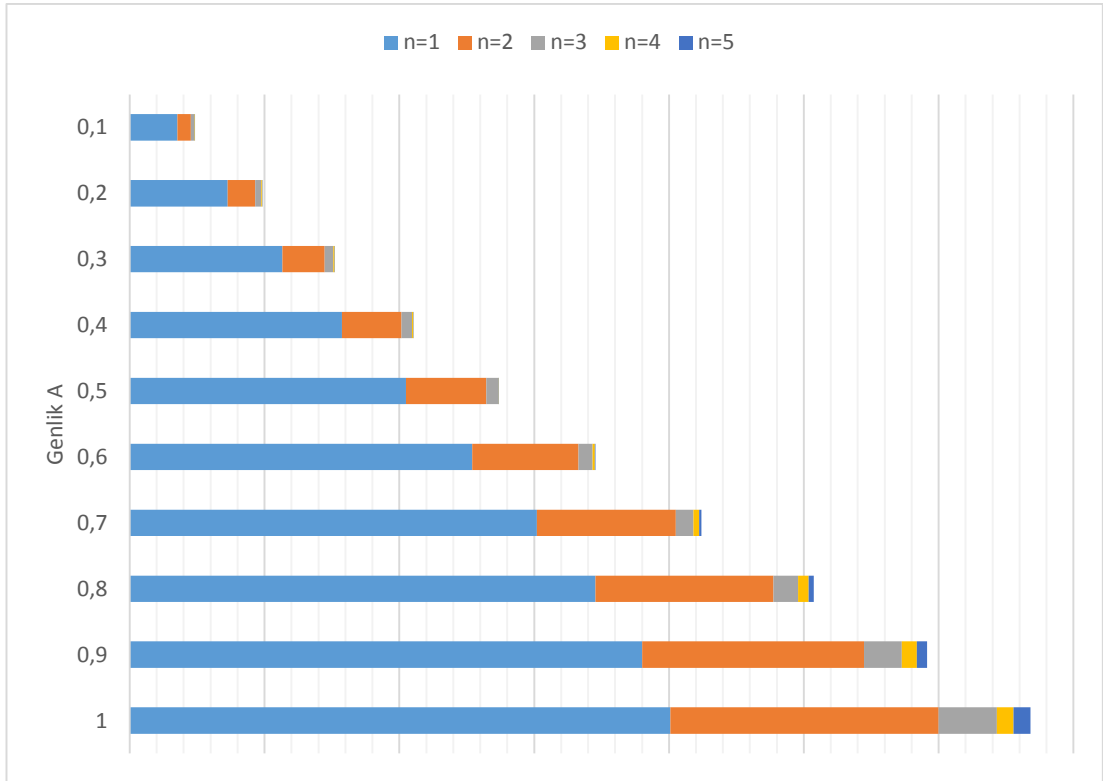
Şekil 5.4. Mod 2 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı

Tablo 5.4. Mod 3 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması

Çözüm No	A	Nümerik	AAY _{n=1}	AAY _{n=2}	AAY _{n=3}	AAY _{n=4}	AAY _{n=5}
1	0,1	0,152310	0,170031 (0,017721)	0,147326 (0,004984)	0,153488 (0,001178)	0,152071 (0,000239)	0,152354 (0,000044)
2	0,2	0,302013	0,338375 (0,036362)	0,291890 (0,010123)	0,304282 (0,002269)	0,301578 (0,000435)	0,302097 (0,000084)
3	0,3	0,446731	0,503344 (0,056613)	0,431061 (0,015670)	0,449929 (0,003198)	0,446203 (0,000528)	0,446845 (0,000114)
4	0,4	0,584508	0,663250 (0,078742)	0,562475 (0,022033)	0,588436 (0,003928)	0,584078 (0,000430)	0,584621 (0,000113)
5	0,5	0,713915	0,816406 (0,102491)	0,684158 (0,029757)	0,718439 (0,004524)	0,713895 (0,000020)	0,713955 (0,000040)
6	0,6	0,834087	0,961125 (0,127038)	0,794669 (0,039418)	0,839319 (0,005232)	0,834916 (0,000829)	0,833881 (0,000206)
7	0,7	0,944676	1,095720 (0,151044)	0,893222 (0,051454)	0,951217 (0,006541)	0,946858 (0,002182)	0,943885 (0,000791)
8	0,8	1,045770	1,218500 (0,172730)	0,979824 (0,065946)	1,054950 (0,009180)	1,049680 (0,003910)	1,043840 (0,001930)
9	0,9	1,137780	1,327780 (0,190000)	1,055400 (0,082380)	1,151770 (0,013990)	1,143340 (0,005560)	1,133990 (0,003790)
10	1,0	1,221360	1,421880 (0,200520)	1,121950 (0,099410)	1,243040 (0,021680)	1,227550 (0,006190)	1,215080 (0,006280)



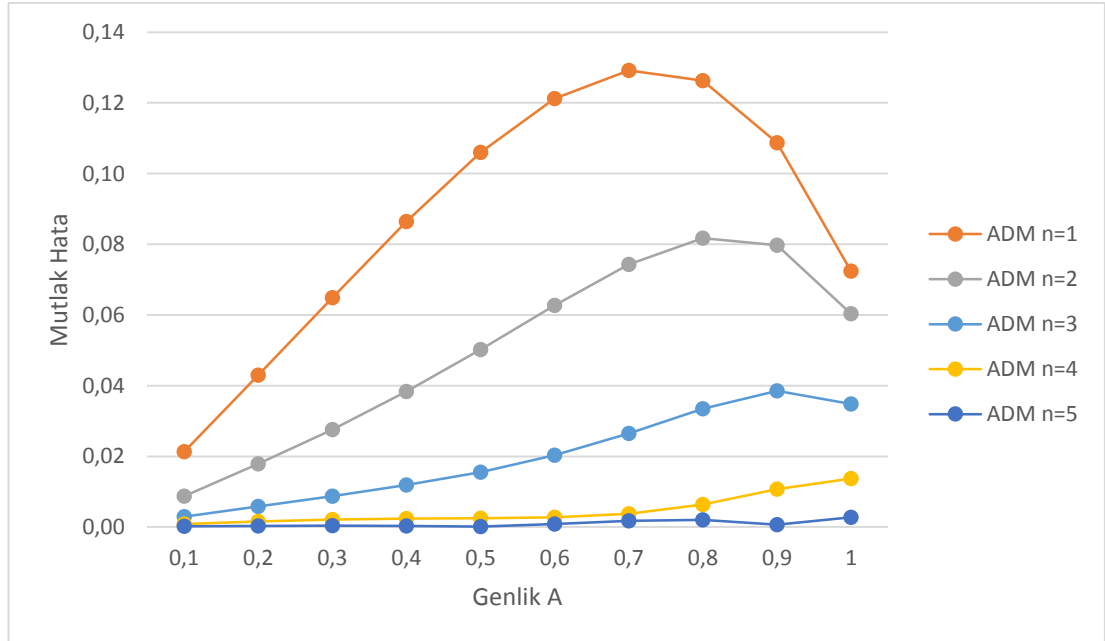
Şekil 5.5. Mod 3 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar



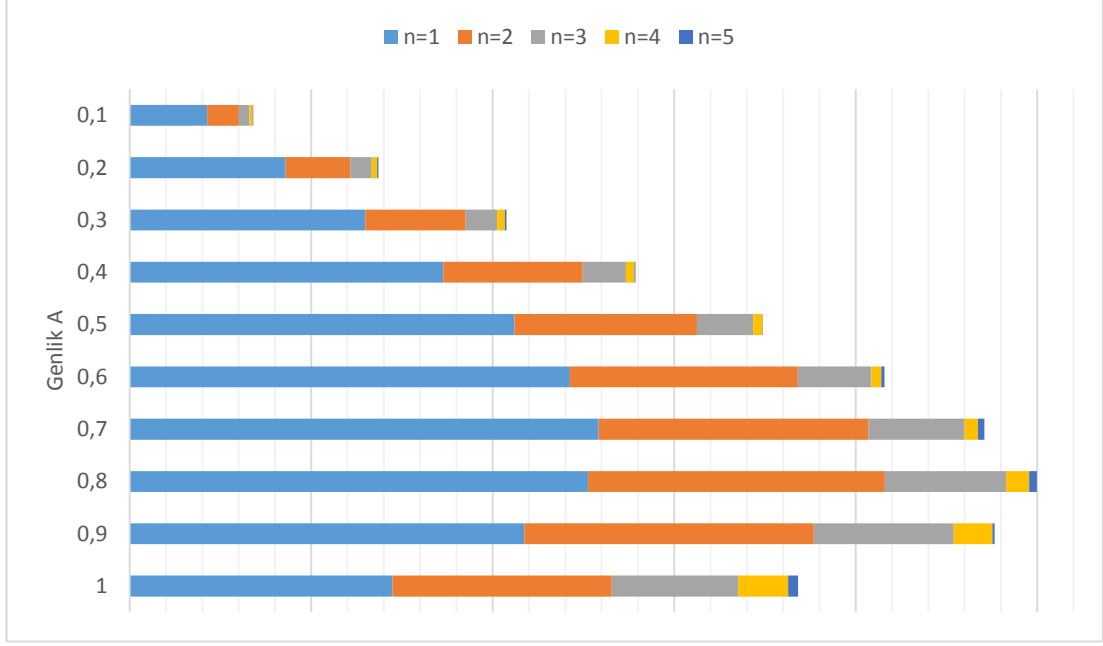
Şekil 5.6. Mod 3 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı

Tablo 5.5. Mod 4 için AAY ile nümerik çözümün karşılaştırması

Çözüm No	A	Nümerik	AAY _{n=1}	AAY _{n=2}	AAY _{n=3}	AAY _{n=4}	AAY _{n=5}
1	0,1	0,140700	0,162000 (0,021300)	0,131930 (0,008770)	0,143638 (0,002938)	0,139875 (0,000825)	0,140900 (0,000200)
2	0,2	0,278053	0,321000 (0,042947)	0,260198 (0,017855)	0,283898 (0,005845)	0,276498 (0,001555)	0,278409 (0,000356)
3	0,3	0,409103	0,474000 (0,064897)	0,381490 (0,027613)	0,417862 (0,008759)	0,407003 (0,002100)	0,409511 (0,000408)
4	0,4	0,531573	0,618000 (0,086427)	0,493195 (0,038378)	0,543438 (0,011865)	0,529174 (0,002399)	0,531846 (0,000273)
5	0,5	0,644004	0,750000 (0,105996)	0,593750 (0,050254)	0,659549 (0,015545)	0,641495 (0,002509)	0,643856 (0,000148)
6	0,6	0,745739	0,867000 (0,121261)	0,682993 (0,062746)	0,766049 (0,020310)	0,743002 (0,002737)	0,744841 (0,000898)
7	0,7	0,836798	0,966000 (0,129202)	0,762510 (0,074288)	0,863280 (0,026482)	0,833060 (0,003738)	0,835023 (0,001775)
8	0,8	0,917702	1,044000 (0,126298)	0,835990 (0,081712)	0,951176 (0,033474)	0,911352 (0,006350)	0,915626 (0,002076)
9	0,9	0,989290	1,098000 (0,108710)	0,909570 (0,079720)	1,027820 (0,038530)	0,978607 (0,010683)	0,988652 (0,000638)
10	1,0	1,052570	1,125000 (0,072430)	0,992188 (0,060382)	1,087390 (0,034820)	1,038810 (0,013760)	1,055300 (0,002730)



Şekil 5.7. Mod 4 için AAY ile nümerik çözüm arasındaki mutlak hatalar



Şekil 5.8. Mod 4 için çözümün derecesine göre hataların yayılımı

AAY çözümü temel denklem olan Eşitlik (2.8) için yapılmış ilk analitik tahmini çözümü değildir. Ganji S.S. ve diğ., (2011) ve (2012) genel denklemin analitik tahmini çözümü için Diferansiyel Dönüşüm Yöntemi (DDY), Varyasyonel İterasyon Yöntemi (VİY) ve Homotopi Pertürbasyon Yöntemi (HPY)'ni kullanmışlardır. Buna göre Tablo 5.6'da bu üç yöntem ile bulunmuş sonuçlar AAY ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin hassasiyetlerine göre problem farklı mertebelerde çözülmüştür.

Tablo 5.6. AAY, DDY, HPY ve VİY yöntemlerinin karşılaştırması

Mod	A	Nümerik	AAY _{n=3}	DDY _{n=3}	HPY _{n=3}	VİY _{n=3}
	0,1	0,098620	0,098618	0,098406	0,098618	0,098618
	0,2	0,197086	0,197081	0,196620	0,197081	0,197081
	0,3	0,295246	0,295237	0,294470	0,295237	0,295237
1	0,5	0,490073	0,490047	0,490230	0,490047	0,490049
	0,7	0,682044	0,681973	0,678340	0,681973	0,681981
	0,9	0,870297	0,870105	0,863160	0,870105	0,870135
	1,0	0,962824	0,962511	0,953120	0,962511	0,962570

Tablo 5.6.(Devam) AAY, DDY, HPY ve VİY yöntemlerinin karşılaştırması

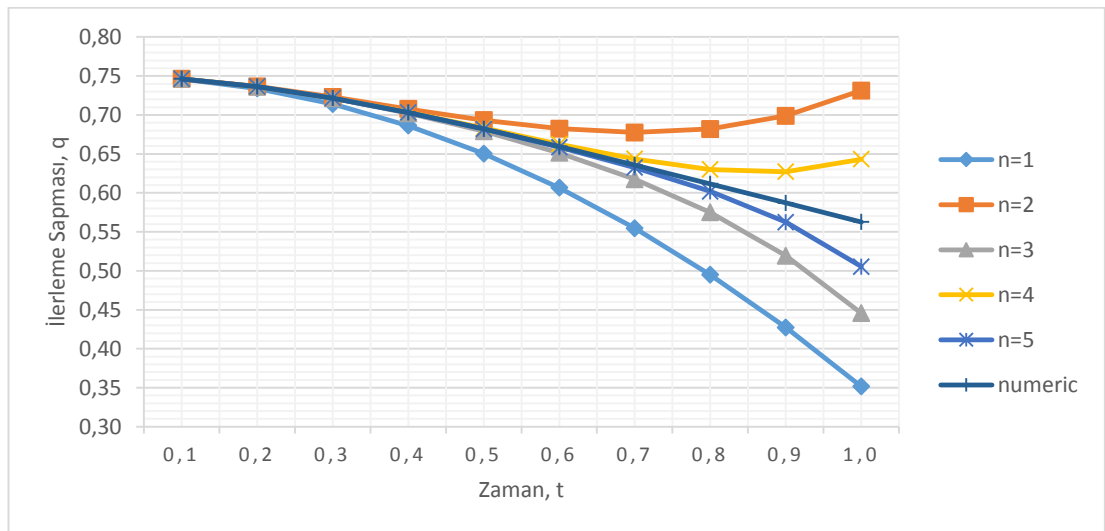
Mod	A	Nümerik	AAY _{n=4}	DDY _{n=4}	HPY _{n=4}	VİY _{n=3}
2	0,1	0,087166	0,087699	0,090870	0,087699	0,085454
	0,2	0,174021	0,175172	0,181653	0,175172	0,170453
	0,3	0,260266	0,262221	0,272285	0,262221	0,245367
	0,5	0,429830	0,434574	0,453125	0,434574	0,418078
	0,7	0,593987	0,605037	0,634340	0,605037	0,572092
	0,9	0,751472	0,777295	0,818880	0,777294	0,711870
	1,0	0,827500	0,866980	0,914063	0,866980	0,774554
Mod	A	Nümerik	AAY _{n=4}	DDY _{n=4}	HPY _{n=4}	VİY _{n=3}
3	0,1	0,152310	0,152071	0,139218	0,152071	0,153550
	0,2	0,302013	0,301578	0,276455	0,301578	0,304792
	0,3	0,446731	0,446203	0,409806	0,446203	0,451683
	0,5	0,713915	0,713895	0,658203	0,713895	0,726723
	0,7	0,944676	0,946858	0,874116	0,946858	0,972742
	0,9	1,137780	1,143340	1,054001	1,143340	1,189564
	1,0	1,221360	1,227550	1,131836	1,227550	1,286738
Mod	A	Nümerik	AAY _{n=4}	DDY _{n=4}	HPY _{n=4}	VİY _{n=3}
4	0,1	0,140700	0,139875	0,125627	0,162000	0,131930
	0,2	0,278053	0,276498	0,248803	0,321000	0,260198
	0,3	0,409103	0,407003	0,367280	0,474000	0,381490
	0,5	0,644004	0,641495	0,583333	0,750000	0,593750
	0,7	0,836798	0,833060	0,767387	0,966000	0,762510
	0,9	0,989290	0,978607	0,929040	1,098000	0,909570
	1,0	1,052570	1,038810	1,010417	1,125000	0,992188

Tablo 5.7'de DDY çözümü ile AAY çözümü 9. mertebe çözüme kadar karşılaştırılmıştır. Mod 1 için DDY ile 9. mertebeye kadar çözüm yapılmadığından bu mod için sonuçlar karşılaştırılmamıştır.

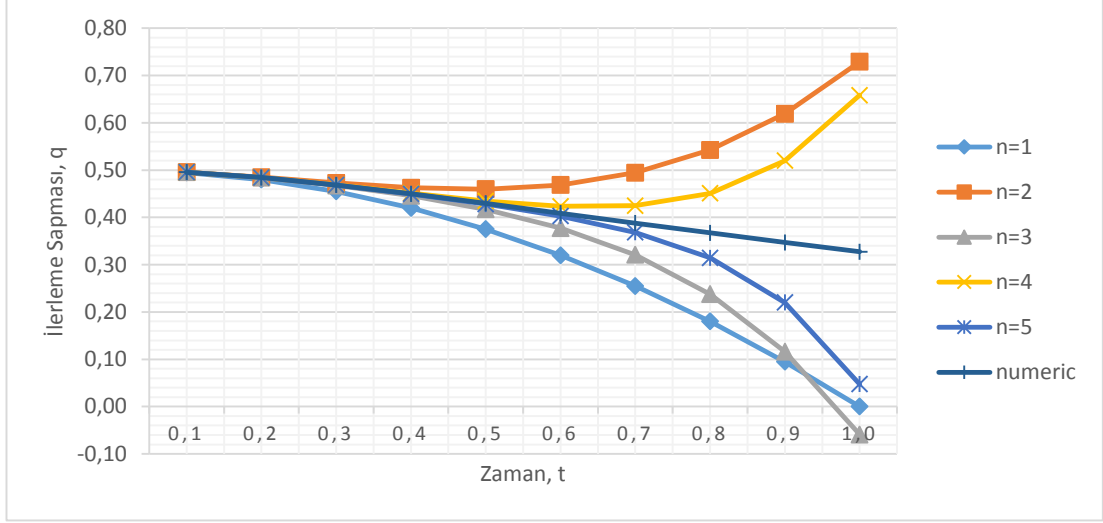
Tablo 5.7. AAY ve DDY karşılaştırması (n=9)

Mod	Yönt.	A						
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
2	AAY	0,087165	0,174019	0,260261	0,429796	0,593764	0,750126	0,824251
	DDY	0,087164	0,174018	0,260264	0,429839	0,594030	0,751465	0,827707
	Num.	0,087166	0,174021	0,260266	0,429830	0,593987	0,751472	0,827500
3	AAY	0,152310	0,302014	0,446734	0,713927	0,944709	1,137950	1,221760
	DDY	0,152354	0,302168	0,447132	0,715440	0,948418	1,144452	1,229225
	Num.	0,152310	0,302013	0,446731	0,713915	0,944676	1,137780	1,221360
4	AAY	0,140700	0,278058	0,409121	0,644096	0,837099	0,989567	1,052440
	DDY	0,140792	0,278331	0,409730	0,645857	0,839791	0,991466	1,053526
	Num.	0,140700	0,278053	0,409103	0,644004	0,836798	0,989290	1,052570

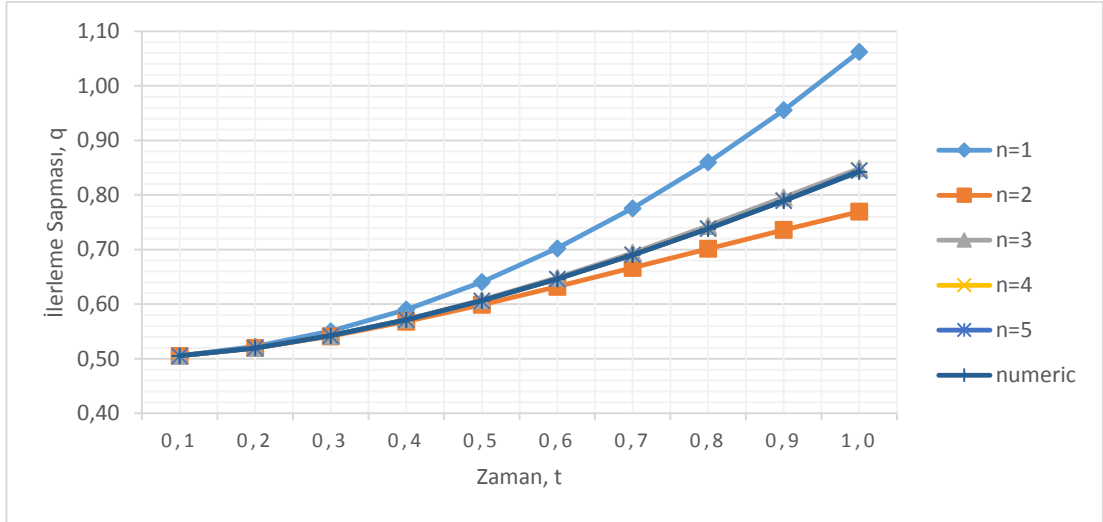
Şekil 5.9,5.10,5.11 ve 5.12'de ε , σ ve A'nın farklı değerleri için $t \in [0,1]$ aralığında q-t diyagramları gösterilmiştir. Şekillerde yatay eksen zamanı, düşey eksen ise ilerleme (seyir) sapmasını temsil etmektedir.



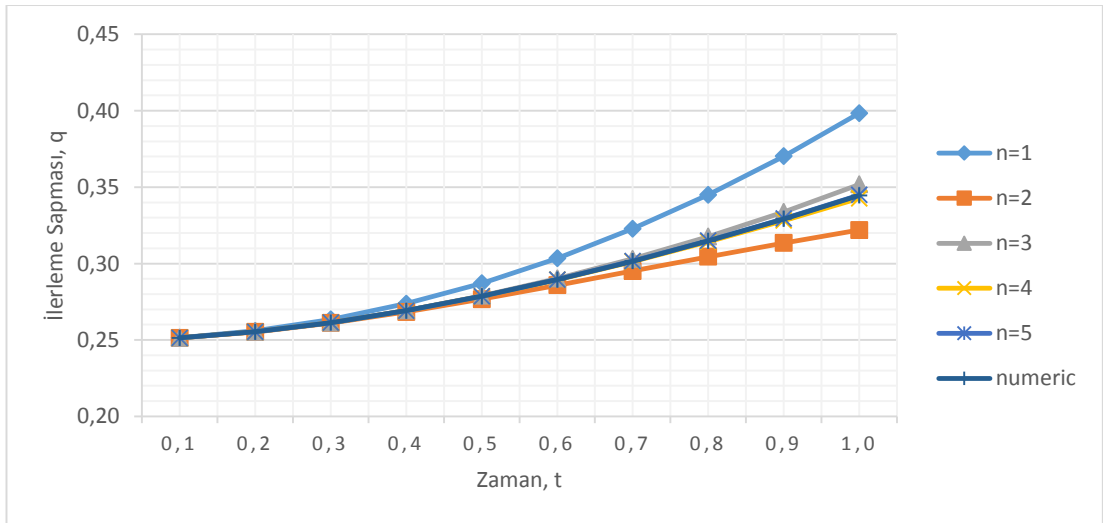
Şekil 5.9. $\varepsilon=0,25$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,75$ değerleri için q-t diyagramı



Şekil 5.10. $\varepsilon=0,75$, $\sigma=2,50$ ve $A=0,50$ değerleri için q-t diyagramı



Şekil 5.11. $\varepsilon=3,25$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,50$ değerleri için q-t diyagramı



Şekil 5.12. $\varepsilon=2,00$, $\sigma=0,75$ ve $A=0,25$ değerleri için q-t diyagramı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada STGP AAY ile çözülmüştür. Ele alınan STGP'ni ifade eden diferansiyel denklemin doğrusal olmayan korunumsuz sarkaç modeli biçiminde türetilmiştir. Problemin analitik tahmini çözümü AAY ile elde edilmiştir. Denklemin çözümü sonsuz seri toplamı şeklinde elde edilmiş, çözümde denklemin doğrusal olmayan kısımları için Adomian polinomları elde edilmiştir. Elde edilen çözüm daha önceki çalışmalarda elde edilen analitik tahmini ve nümerik çözümlerle karşılaştırılmıştır. AAY ile elde edilen sonuçların diğer yöntemlerle benzerlik gösterdiği özellikle sonuç bölümündeki tablolar incelendiğinde açıkça görülmektedir.

AAY çözümü ve nümerik çözüm Wolfram Mathematica programı ile gerçekleştirilmiştir. Nümerik çözüm için programda bulunan NDSolve hazır komutu kullanılmıştır.

AAY STGP denklemine uygulanırken herhangi bir doğrusallaştırma yapılmamış, direkt olarak problemin çözümüne ulaşılmıştır. Ayrıca önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar AAY'nin çözüme daha hızlı yakınsadığını ve daha fazla hesaplama yükünden bu yöntemin kullanılması ile kaçınılabileceğini göstermektedir. Ayrıca AAY probleme uygulanırken, çözüm formülasyonu diğer yöntemlere göre daha az işlem gerektirir ve böylece daha kolay uygulanabilir. Bu yöntemle problemde doğrusal olmayan denklemlerin çözümlerinde doğrusallaştırma, pertürbasyon ya da herhangi bir kabule gerek kalmadan sonuca ulaşılması sağlanır. AAY ile hesaplama süresi de daha kısa olduğundan ele alınan denklem için daha uygun bir çözüm yöntemi olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

Adomian G., *Applied Stochastic Processes*, 1st ed., Academic Press, New York, 1980.

Adomian G., *Solving Frontier Problems of Physics: The Decomposition Method*, 1st ed., Springer Netherlands, Dordrecht, 1994.

Caceres A. M., Gredilla J. V., Assesment of Congestion Costs in Madrid, *The 22nd European Transport Forum, Transport Policy and its Implementation: Volume 1*, Coventry, UK, 12-16 September 1994.

Demirci İ., Adomian Ayrıştırma Metodu Yardımıyla Lineer Olmayan Adi Diferansiyel Denklemler İçin Başlangıç Değer Probleminin Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2010, 259732.

Engin S., Lastik Tekerlekli Boğaz Geçişinin Eminönü Fatih Bölgesindeki Şehirçi Trafiğe Olan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 266506.

Ganji S. S., Barari A., Najafi M., Domairry G., Analytical Evaluation of Jamming Transition Problem, *Canadian Journal of Physics*, 2011, **89**, 729-738.

Ganji S. S., Barari A., Ibsen L. B., Domairry G., Differential Transform Method for Mathematical Modeling of Jamming Transition Problem in Traffic Congestion Flow, *Central European Journal of Operations Research*, 2012, **20**, 87-100,

Gazis D. C., Herman R., Potts R. B., Car-Following Theory of Steady-State Traffic Flow, *Operations Research*, 1959, **7-4**, 499-505.

Herman R., Montroll E. W., Potts R. B., Rothery R. W., Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following, *Operation Research*, 1959, **7**, 86-106.

Kometani E., Sasaki T., On the Stability of Traffic Flow, *Journal of Operations Research Japan*, 1958, **2**, 1126.

İmrem A. N., Modeling of Multi Lane Highway Traffic and Analysis of Jam Formation, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Institute for Graduate Studies in Science and Engineering, İstanbul, 2008, 232852.

Khomenko A., Kharchenko D., Yushchenko O., Jamming Transition with Fluctuations of Characteristic Acceleration/Braking Time, *Ser. Physic*, 2004, **37**, 44-56.

Kühne R. D., Macroscopic freeway model for dense traffic-stop-start waves and incident detection, *Transportation and Traffic Theory*, VNU Science Press, Utrecht, Netherlands, 11-13 July 1984.

Lighthill M. J., Whitham G. B., A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical*, 1955, **229**, 317-345.

May A. D., Keller H. E. M., Non-Integer Car-Following Models, *Highway Research Record*, 1967, **199**, 19-32.

Memiş K., Trafik Akışkanlığının Doğrusal Sınıflayıcılar Vasıtasıyla Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2008, 216005.

Nagatani T., Thermodynamic Theory for the Jamming Transition in Traffic Flow, *Physical Review E*, 1998, **58**, 4271-4276.

Olemskoi A. I., Khomenko A. V., Synergetic Theory for Jamming Transition in Traffic Flow, *Physical Review E*, 2001, **63**, 1-4.

Öztürk Z., Karayolu Şehir içi Trafikte Tıkanıklık Maliyeti, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, Türkiye, 22-24 Eylül 2005.

Payne H. J., Models of Freeway Traffic and Control, *Mathematical Models of Public Systems Simulation Councils Proc. Ser.*, 1971, **1**, 51-61.

Priogine I., Herman R., *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*, New York: American Elsevier Publ., Co., Amsterdam, 1971.

Richards P. I., Shock Waves on the Highway, *Operations Research*, 1956, **4-1**, 42-51.

URL-1: <http://www.cebr.com/reports/the-future-economic-and-environmental-costs-of-gridlock/> (Ziyaret tarihi: 26 Mart 2015).

Waldeer K. T., Numerical Investigation of a Mesoscopic Vehicular Traffic Flow Model Based on a Stochastic Acceleration Process, *Transport Theory and Statistical Physics*, 2004, **33-1**, 31-46.

Wazwaz A. M., A Comparison Between Adomian Decomposition Method and Taylor Series Method in the Series Solutions, *Applied Mathematics and Computation*, 1998, **97**, 37-44.

EKLER

EK-A

Mathematica programı ile nümerik çözüm NDSolve komutu ile aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

$$\text{NDSolve} \left[\left\{ \begin{array}{l} y''[x] + ((1 + \sigma) y'[x] + (\sigma - \epsilon) y[x]) \\ + y[x]^2 y'[x] + y[x]^3 == 0, y[0] == A, y'[0] == 0 \end{array} \right\}, y, \{x, 0, 1\} \right]$$

Denklemin beşinci mertebeye kadar AAY ile çözümü için aşağıdaki komut dizisi kullanılmıştır.

$$\eta_0[t_-] = A;$$

$$\begin{aligned} \eta_1[t_-] = & - \int_0^t \int_0^r ((1 + \sigma) D\eta_0[x] + (\sigma - \epsilon) \eta_0[x]) dx dr \\ & - \int_0^t \int_0^r \eta_0[x]^2 D\eta_0[x] dx dr - \int_0^t \int_0^r \eta_0[x]^3 dx dr; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_2[t_-] = & - \int_0^t \int_0^r ((1 + \sigma) D\eta_1[x] + (\sigma - \epsilon) \eta_1[x]) dx dr \\ & - \int_0^t \int_0^r (2\eta_1[x] \eta_0[x] D\eta_0[x] + \eta_0[x]^2 D\eta_1[x]) dx dr \\ & - \int_0^t \int_0^r 3\eta_0[x]^2 \eta_1[x] dx dr; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_3[t_-] = & - \int_0^t \int_0^r ((1 + \sigma) D\eta_2[x] + (\sigma - \epsilon) \eta_2[x]) dx dr \\ & - \int_0^t \int_0^r \left(D\eta_0[x] \eta_1[x]^2 + 2\eta_0[x] D\eta_1[x] \eta_1[x] \right. \\ & \left. + 2\eta_2[x] D\eta_0[x] \eta_0[x] + \eta_0[x]^2 D\eta_2[x] \right) dx dr \\ & - \int_0^t \int_0^r (3\eta_0[x] \eta_1[x]^2 + 3\eta_0[x]^2 \eta_2[x]) dx dr; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_4[t_-] &= -\int_0^t \int_0^r ((1+\sigma)D\eta_3[x] + (\sigma - \epsilon)\eta_3[x]) dx dr \\
&\quad - \int_0^t \int_0^r \left(D\eta_1[x]\eta_1[x]^2 + 2(\eta_2[x]D\eta_0[x] + \eta_0[x]D\eta_2[x])\eta_1[x] + \eta_0[x] \right) dx dr \\
&\quad \left(2\eta_3[x]D\eta_0[x] + 2\eta_2[x]D\eta_1[x] + \eta_0[x]D\eta_3[x] \right) \\
&\quad - \int_0^t \int_0^r \left(\eta_1[x]^3 + 6\eta_0[x]\eta_2[x]\eta_1[x] + 3\eta_0[x]^2\eta_3[x] \right) dx dr;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\eta_5[t_-] &= -\int_0^t \int_0^r ((1+\sigma)D\eta_4[x] + (\sigma - \epsilon)\eta_4[x]) dx dr \\
&\quad - \int_0^t \int_0^r \left(D\eta_2[x]\eta_1[x]^2 + 2(\eta_3[x]D\eta_0[x] + \eta_0[x]D\eta_3[x]) \right. \\
&\quad \left. \eta_1[x] + D\eta_0[x]\eta_2[x]^2 + 2\eta_2[x](\eta_1[x]D\eta_1[x] + \eta_0[x]D\eta_2[x]) \right. \\
&\quad \left. + \eta_0[x](2\eta_4[x]D\eta_0[x] + 2\eta_3[x]D\eta_1[x] + \eta_0[x]D\eta_4[x]) \right) dx dr \\
&\quad - \int_0^t \int_0^r 3 \left(\eta_2[x]\eta_1[x]^2 + 2\eta_0[x]\eta_3[x]\eta_1[x] \right. \\
&\quad \left. + \eta_0[x](\eta_2[x]^2 + \eta_0[x]\eta_4[x]) \right) dx dr
\end{aligned}$$

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Çoşkun S. B., **Şentürk E.**, Solution of Jamming Transition Problem Using Adomian Decomposition Method, *3rd International Congress on Natural and Engineering Sciences*, Sarajevo, 9-13 September 2015 (Kabul Edildi).

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında Harita Mühendisi olarak mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Jeoinformasyon Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2010 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.