

Otoyolda Trafik Akımının Modellenmesi ve Model Kalibrasyonu: İstanbul O1 Örneği

Hatice GÖÇMEN DEMİR*

Ergun GEDİZLİOĞLU**

Yusuf Kağan DEMİR***

ÖZ

Otoyol trafik akımında Değişken Hız Sınırlaması, Otoyol Katılım Kontrolü gibi trafik kontrol araçları ile iyileştirmeler yapılmaktadır ve trafik akımında oluşan şok dalgaları, kuyruklanma gibi istenmeyen trafik olayları önlenmektedir. Trafik kontrol araçlarının trafik akımına etkisini görmek için trafik akım modellerinden yararlanılır. Bu çalışmada İstanbul, O1 otoyolunun 2.5 km'lik kesimi, ikinci derece makroskobik trafik akım modeli METANET ile modellenmiştir. Çalışma kesimi iki katılıma sahiptir. Kesimde doruk saatlerde, trafik tıkanıklığı, şok dalgaları ve kuyruklanmalar oluşmaktadır. METANET modelinin karakteristik parametreleri MATLAB uygulamasıyla kestirilmiştir. Kalibrasyon için gerekli olan veriler (hız ve yoğunluk) CORSIM simülasyon yazılımından alınmıştır. Kalibre edilen METANET modelinin çalışma bölgesindeki trafik akımını başarılı şekilde tahmin ettiği görülmüştür. Çalışmadan elde edilen METANET modeli trafik kontrol çalışmalarında tahmin modeli olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: METANET, trafik akımı, simülasyon, kalibrasyon.

ABSTRACT

Modeling and Model Calibration of Traffic Flow on Freeway: Istanbul O1 Example

Many traffic control tools such as Variable Speed Limits (VSL), Ramp Metering, etc are applied to improve freeway traffic flow and through these tools various undesirable phenomena like shock waves and queues on traffic flow can be eliminated or reduced. The aim of this study is to analyze a 2.5 km section of O1 Freeway in Istanbul and to model it analytically with a macroscopic analytical traffic flow model METANET. The section under consideration has two merges. Traffic congestion, shock waves and queues occur on the section in rush hours. The fundamental parameters of METANET were estimated by using MATLAB. Data needed (speed and density) to estimate METANET parameters were collected from CORSIM simulation software calibrated for this section. The

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 29.04.2013 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2014 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Niğde Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde - hgocmen@gmail.com

** İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - ergun.gediz@gmail.com

*** Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep - ykdemir@gmail.com.tr

calibrated METANET model was able to represent traffic flow on the section successfully. It is expected that the calibrated METANET model can be used for performing studies on traffic control for a forecasting model.

Keywords: METANET, traffic flow, simulation, calibration.

1. GİRİŞ

Trafik tıkanıklığı büyük kentlerin önemli sorunları arasında yer alır. Kentsel alanlarda büyümeyle birlikte kentiçi otoyollar da tıkanmaya başlamıştır. Çözüm olarak yeni yolların yapılması, toplu taşıma arasında bütünleşmenin sağlanması veya altyapının daha iyi kullanılması seçeneklerinin kullanımı gündeme gelmektedir. Yeni yolların inşası ve toplu taşımada bütünleşmenin sağlanması uzun vadeli projelerde yer alan, büyük yatırımlar gerektiren yüksek maliyetli uygulamalardır. Bunun yanında alt yapının daha iyi kullanılması için trafik yönetimi çalışmaları yapılır. Bunlar taşıt trafiğini düzene sokmak ve trafik akımlarının kabul edilebilir hızla akmalarını sağlamak amacıyla olan uygulamalardır [1]. Otoyollarda Akıllı Ulaştırma Sistem (AUS) bileşenleri ile yapılan dinamik trafik kontrolüne yönelik uygulamalar bu amaçla yapılır. Şerit Yönetimi, Değişken Hız Sınırlaması (DHS), Şerit Kullanım Kontrolü, Otoyol Katılım Kontrolü (OKK) en bilinen uygulamalardandır. Değişken Hız Sınırlaması otoyolda hâkim olan trafik, çevre ve yol şartları gözlemlenerek, otoyolda dinamik olarak değişen hız sınırları uygulamaktır. Katılım kontrolünün basit özeti, otoyol katılımına trafik ışığı yerleştirilerek taşıtların otoyola kontrollü katılmalarının sağlanmasıdır. Bu tip kontrol çalışmalarının trafik akımında yarattığı etkilerin belirlenmesi ve dinamik olarak uygulanabilmesi için trafik akımının modellenmesine ihtiyaç duyulur.

Trafik akım modelleri modelleme yaklaşımlarına göre makroskobik, mikroskobik ve mezoskobik olmak üzere sınıflandırılır. Mikroskobik trafik akım modelleri tekil taşıtların dinamiğini ve birbiriyle olan etkileşimini tanımlamaktadır (örneğin taşıt takip modelleri ve hüresel özdevinir modeller). Mezoskobik trafik akım modelleri mikroskobik taşıt dinamiğini makroskobik boyutta bir fonksiyon olarak açıklamaktadır (örneğin gaz kinetik modeller) [2]. Mezoskobik Modeller aynı karakteristik özellik taşıyan taşıtları toplulaştırarak makroskobik trafik akım dinamikleri ve yol seçim modeline göre ağı içinde hareket ettirmektedir [3]. Makroskobik akım modelleri toplu taşıt dinamiğini yoğunluk (taşıt/km), akım (taşıt/saat) ve hız (km/saat) olmak üzere toplulaştırılmış değişken terimleri ile tanımlamaktadır (örneğin akışkan dinamik modeller) [2]. Makroskobik modeller trafik akımını sürekli akışkan olarak ele almaktadır. Tekil taşıtların davranışı yerine toplulaştırılmış taşıtların davranışları dikkate alınmaktadır. Uygulamada bu yöntem taşıt davranışların gözlem ve ölçümlerini kolaylaştırmaktadır. Taşıt trafiği suyun akışına çok benzemese de yeterli benzerlikler hidrodinamik teoriyi taşıt dinamiğini açıklamakta faydalı hale getirmektedir [2]. Makroskobik modeller kontrol stratejilerinin tasarımında etkilidir. Bunun nedeni trafik akım sürecini analitik olarak modellemesi ve daha az hesaplama zamanı gerekmesidir [3].

Lighthill ve Whitham [4] ve bunlardan bağımsız olarak Richards [5] trafik akımı ile akışkan dinamiği arasındaki benzerlikten hareketle ilk dinamik trafik akım modelini ortaya koymuştur. Model literatürde Lighthill-Whitham-Richards (LWR) modeli olarak geçmektedir. Birinci derece LWR modeli literatürde kinematik dalga modeli veya

hidrodinamik model olarak da anılmaktadır. LWR modeli; süreklilik eşitliği, temel diyagram eşitliği ve hız v ile yoğunluk ρ arasında ilişkiden türetilen dengedeki hız $[V_d(\rho)]$ eşitliğinden oluşmaktadır (Literatürde Greenshields'den [6] başlamak üzere hız v ile yoğunluk ρ arasında çeşitli matematiksel formüller türetilmiştir). LWR modeli öğretici ve teorik olarak açık bir modeldir. Fakat modelin eksik tarafları vardır. LWR modelinde hız yoğunluğa bağlı olarak $V_d(\rho)$ ile bulunur. Bu durum yoğunluk değişimlerinin büyük olduğu yerlerde gerçek dışı sonuçlar vermektedir. Model ayrıca trafik akımındaki kararsızlıkları tahmin edememektedir. Payne [7] LWR modelinin zayıflıklarını gidermek amacıyla, LWR modeline ikinci bir eşitlik (ortalama hız eşitliği) ilave etmiştir. METANET modeli, geliştirilen trafik akım modelleme süreçlerinde, Papageorgiou'nun [8], Payne'nin [7] modelinin ikinci eşitliği olan ortalama hız eşitliğine, ilave terimler eklenmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu şekliyle METANET, ikinci derece, deterministik makroskobik trafik akım modelidir. Daganzo [9] ortaya koyduğu CTM (Cell Transmission Model) modeli ise geniş ağlarda ve gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilmektedir [10]. 1. ve 2. Derece makroskobik trafik akım modellerin teorik yönü ve uygulanabilirliği pek çok çalışmada tartışılmıştır ([8], [9], [11]). Daganzo [9] ile Papageorgiou vd. [11]'in çalışmaları bu tartışmaların merkezindedir. Daganzo'nun [9] temel eleştirisi 2.derece modelde (Payne Modeli) negatif hız ve akımların oluşabileceği yönündedir. Papageorgiou [8], geliştirmiş olduğu ikinci derece Model'in (METANET) yukarıda sayılan 1. derece modeldeki (LWR) eksiklikleri ortadan kaldırdığını, trafik akım modellerin ampirik model olması ve negatif hız/akım oluşma durumunda, bu değerlerden maksimum değeri, yani sıfır değerinin alınmasını önermektedir.

Bu çalışmada, Papageorgiou vd. [12]'nin geliştirdiği, Hegyi [13] 'nin şerit iptali, otoyol katılımının trafik akımına etkisini dikkate alarak düzenlediği makroskobik trafik akım modeli METANET, otoyoldaki trafik akımının modellenmesi için kullanılmıştır.

METANET modelinin tercih edilmesinin başlıca nedenleri;

- Yol kesimlerindeki katılımların ve otoyol şerit iptali durumunun trafik akımı üzerinde yarattığı etkilerin öngörüsü
- Katılım kontrol ve DHS gibi kontrol eylemlerinin trafik akımında yarattığı etkilerin öngörüsü
- Şişebayunlarda yoğunluk değişimlerinin büyük olduğu durumlarda, şok dalgasının etkisi
- Taleplerdeki değişimlerin çalışma bölgesindeki trafik değişkenlerine olan etkileri ve kuyruklanma tahmini yapabilmesidir.

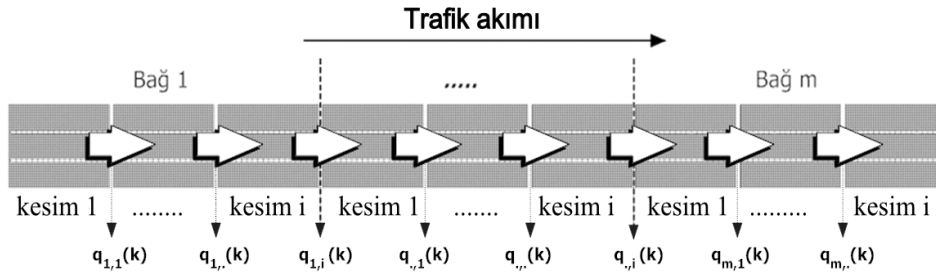
METANET modelinin çalışma bölgesindeki trafik akımını tahmin etmesi için modele ait parametrelerin kestirilmesi gerekmektedir. Bunun için çalışma bölgesinin geometrik özelliklerinin tanımlanması, METANET kalibrasyonu için uygun veri matrislerinin hazırlanması gerekir. Kalibrasyon, METANET modelinin, araziden ölçülen gözlem matrisini kabul edilen hata oranıyla üreten parametrelerin bulunmasıyla tamamlanır. Kalibrasyon parametreleri için sınır değerler tanımlandığında, problem sınır değerli eniyileme problemine dönüşür. Çalışmada, eniyileme işlemi için MATLAB içinde yer alan fmincon yerleşik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon ardışık kuadratik programlama

algoritması kullanarak eniyileme yapmaktadır. METANET parametreleri bu program yardımıyla kestirilmiştir.

2. METANET MODELİ

METANET modeli uygulamasında trafik durum değişkenleri, zaman adımı (k) ve yol kesimleri (i) için tanımlanır. METANET ayrık yol ve zaman vektörlerine karşılık gelen üç adet trafik durum değişkeni matrisi hesaplar. Bunlar ortalama hız (v), yoğunluk (ρ) ve bu iki değişkenden türetilmiş akım (q) matrisidir.

METANET modelinde çalışma kesimi bağlardan ve bunların birleştiği düğüm noktalarından oluşur. Ancak bağlar (m), bağları oluşturan kesimler (i) olmak üzere daha küçük parçalara ayrılır (Şekil 1). Örneğin Şekil 1’de bağ 1 kesim 1 için akım değeri $q_{1,1}$ ile gösterilir. Aynı bağa ait kesimlerdeki durum değişkenleri hesaplanırken, bağa ait kalibre edilmiş parametreler kullanılır. Bu nedenle kesimler akıma ait karakteristik değişikliklerin olduğu yerlere göre belirlenirler. Şerit sayısındaki değişimler, katılımlar, kesimin farklılaştığı noktalar ve düğüm noktaları buralara yerleştirilir.



Şekil 1. Çalışma bölgesinin METANET geometrisi

METANET sürücülerin yol seçim davranışını dikkate alması durumunda varış tabanlı olarak bir yol kesimindeki trafik akımını modelleyebilir. Bu tip modellemede kesimden geçen trafik, kesimin bitiş noktasındaki düğümünden farklı bağlara dağıtılır. Bu dağıtım, kesime giren trafiğin farklı hedeflerdeki talebine bağlıdır. Bu çalışmada varış tabanlı METANET modeli kullanılmadığından bu ayrıntıya girilmeyecektir. Bununla ilgili ayrıntı bilgi için [14]’e bakılabilir.

Buna göre METANET modeli m bağının, i kesimi k zaman adımında yoğunluk (ρ), ortalama hız (v) ve akım (q) hesabı için aşağıdaki eşitlikler kullanılır.

$$\rho_{m,i}(k+1) = \rho_{m,i}(k) + \frac{T_{sim}}{\lambda_m L_{m,i}} [q_{in}(k) - q_{out}(k)] \quad (1)$$

$$q_{in}(k) = q_{m,i-1}(k)$$

$$q_{out}(k) = q_{m,i}(k)$$

$$v_{m,i}(k+1) = v_{m,i}(k) \quad (2)$$

$$+ \frac{T_{sim}}{\tau_m} \cdot (V_d[\rho_{m,i}(k)] - v_{m,i}(k))$$

$$+ \frac{T_{sim}}{L_{m,i}} \cdot v_{m,i}(k) \cdot (v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k))$$

$$- \frac{\eta_m \cdot T_{sim}}{\tau_m \cdot L_{m,i}} \cdot \frac{\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)}{\rho_{m,i}(k) + \kappa_m}$$

$$- \left(\frac{\delta_m \cdot T_{sim}}{L_{m,i} \cdot \lambda_m} \right) \frac{q_{on,m,1}(k) \cdot v_{m,1}(k)}{\rho_{m,1}(k) + \kappa_m}$$

$$q_{m,i}(k+1) = \lambda_m \cdot \rho_{m,i}(k+1) \cdot v_{m,i}(k+1) \quad (3)$$

Eşitliklerdeki terimler;

$\rho_{m,i}(k+1)$: $k+1$ zaman adımında m bağı, i kesiminde yoğunluk [taşı/km/şerit]

$q_{m,(i-1)}(k)$: k zaman adımında, m bağı ($i-1$) kesiminden çıkan akım [taş/sa]

$q_{m,(i)}(k)$: k zaman adımında m bağı i kesiminden çıkan akım [taş/sa]

$\rho_{m,(i)}(k+1)$: $k+1$ zaman adımında m bağı i kesimindeki yoğunluk [taşı/km/şerit]

$v_{m,i}(k)$: k zaman adımında, m bağının, i kesimindeki ortalama hız [km/sa]

$v_{m,(i)}(k+1)$: $k+1$ zaman adımında m bağı i kesimindeki ortalama hız [km/sa].

$q_{m,(i)}(k+1)$: $k+1$ zaman adımında m bağı i kesiminden çıkan akım [taş/sa]

$v_{m,1}(k)$: Katılımın olduğu bağdaki kesimin ortalama hızı [km/sa].

$\rho_{m,1}(k)$: Katılımın olduğu bağdaki kesimin yoğunluğu [taşı/km/şerit]

T_{sim} : k ve $k+1$ zaman adımları arasındaki süre [s]

λ_m : m bağının şerit sayısı

τ_m : m bağında denge terimine ait zaman sabiti [s]

V_d : Dengedeki hız değeri, yoğunluğun bir fonksiyonudur [km/sa].

$L_{m,i}$: m bağına ait i kesiminin uzunluğu [km]

η_m	: Öngörü terimine ait parametre [km^2/sa]
$v_{m,i-1}(k)$: k zaman adımında akım yukarı kesime ait hız [km/sa]
$\rho_{m,i+1}(k)$: k zaman adımında akım aşağı kesime ait yoğunluk [$taşıt/km/şerit$]
κ_m	: Öngörü terimine ait parametre [$taşı/km$]
δ_m	: Otoyol katılımının/çıkışının hıza etkisini belirten faktör
$q_{on,m,1}(k)$: m bağının ilk kesimine katılımdan giren akım [$taşı/sa$]

τ_m, η_m, κ_m parametreleri her bağ için ayrı ayrı kestirilebileceği gibi tüm çalışma bölgesindeki bağlar için aynı kabul edilerek (τ, η, κ) kestirilebilir. Bu çalışmada (τ, η, κ) parametreleri tüm bağlar için eşit kabul edilmiştir. (2) numaralı eşitliğin en son terimi ise katılım akımlarının anaakım ortalama hızına etkisini hesaplar.

Ortalama hız eşitliği (2) METANET'in en uzun ve karmaşık eşitliğidir. Bunun nedeni, METANET'in hesap yapılan kesimde ortalama hızlarla ilgili birçok etkeni dikkate alarak hesaplamasıdır. Bu etkiler ortalama hız eşitliği içindeki terimler aracılığıyla tanımlanır. Eşitlik (2) deki ikinci terim olan denge (relaxation) terimi kesimdeki sürücülerin hızının, denge hızına doğru evrimleşmesini temsil eder. METANET modelinde dengedeki ortalama hız ile akım arasında ilişki için Kotsialos ve Papageorgiou [3] ve Hegyi [13]'nin kullandığı aşağıdaki hız eşitliği kullanılmıştır.

$$V_d[\rho_{m,i}(k)] = v_{f,m} \exp \left[-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_{m,i}(k)}{\rho_{cr,m}} \right)^a \right] \quad (4)$$

(a) model parametresi, (v_f) (m) bağındaki serbest hız, $\rho_{cr,m}$; (m) bağına ait kritik yoğunluk (taşıt/km/şerit) değeridir. Eğer kalibre edilmiş METANET modeli, kontrol problemlerinde kullanılacaksa, Eşitlik (4) yerine aşağıda hız sınırlarını içeren fonksiyonu kullanılır [13].

$$V_d[\rho_{m,i}(k)] = \min \left\{ (1+\alpha) \cdot v_{ctr,m,i}(k), v_{f,m} \cdot e^{-\frac{1}{a} \left(\frac{\rho_{m,i}(k)}{\rho_{cr,m}} \right)^a} \right\}, \alpha \in [-1, 1] \quad (5)$$

Bu eşitlikte yer alan $v_{ctr,m,i}(k)$ anında uygulanan hız (km/sa) sınırlamasıdır. α sürücülerin hız sınırına uymalarını temsil eden bir değeridir.

Sürücü bulunduğu yol kesiminden bir sonrakine geçtiğinde hızı farklıysa mevcut hızını girdiği yol kesimdeki hıza göre ayarlar. Ancak bu durum hemen oluşmayacağından, mevcut kesimin ortalama hızı bundan etkilenecektir. Bir önceki kesimdeki hızın bir sonraki kesime olan etkisi (2) eşitliğinde üçüncü terim olan uyarılma (convection) terimi ile yansıtılmaktadır.

Sürücü bulunduğu yol kesimini terk etmek üzereyken bir sonraki kesimdeki yoğunluğu fark ederek kesimi terk etmeden hızını bir sonraki duruma uydurmak ister. Bu istek hesap

yapılan kesimdeki ortalama hızda değişime neden olur ve bu değişimde öngörü (anticipation) terimi ile ortalama hızı yansıtır. Ancak Eşitlik (2) deki öngörü terimine ait değerin hesaplanmasında kullanılan model parametresi $\eta_{m,i}$ koşullu parametredir. Şok dalgası nedeniyle kuyruklanma oluştuğunda, kesimler arası yoğunluk farkına göre sürücü davranışı farklılık gösterir. Bu durumda parametre seçimi aşağıdaki koşula göre belirlenir.

$$\eta_m = \begin{cases} \eta_{m,high}, & \rho_{m,i+1}(k) \geq \rho_{m,i} \\ \eta_{m,low}, & \rho_{m,i+1}(k) < \rho_{m,i} \end{cases} \quad (6)$$

Yol geometrisindeki değişimlerin ortalama hızı etkisi, Eşitlik (2)'de yer alan katılım (merge) ve şerit daralma parametreleri ile eklenir. Bunlarla ilgili ayrıntılı bilgi [13]'de verilmiştir. Eşitlik (1), Eşitlik (2) ve Eşitlik (3) seçilen çalışma bölgesi için yoğunluk, ortalama hız ve akım matrisi üretir. Matrislerin satır sayısı zaman adımını (k), sütun sayısı ise yol kesimlerini (i) göstermektedir. İlk ve son kesimlerdeki yoğunluk ve ortalama hız hesaplamaları için METANET sınır şartları adı altında eşitlikler kullanılır. Bu eşitliklerle ilgili ayrıntılı bilgiye [15] 'den bakılabilir.

Variş tabanlı olmayan METANET ağında bir düğüme n adet bağdan gelen trafik akımı, düğümden çıkan bağlara aşağıdaki gibi dağıtılır.

$$Q_n(k) = \sum_{\mu \in I_n} q_{\mu} N_{\mu}(k) \quad (7)$$

$$q_{m,0}(k) = \beta_n^m(k) Q_n(k) \quad \forall m \in O_n \quad (8)$$

Eşitlikte, I_n n düğüme giren bağ, O_n ise bu düğümden ayrılan bağ kümesini göstermektedir. Düğüme giren k anındaki toplam trafik akımı $Q_n(k)$ eşitlik (7) ile hesaplanır. Düğümden çıkan trafik akımı ise her bağ için β_n^m katsayısı kullanılarak hesaplanır. β_n^m kavşaklardaki n düğümden m bağına giden k zaman adımındaki dönüş oranlarını göstermektedir.

3. METANET MODELİNİN KALİBRASYONU

Kalibre edilmiş METANET modeli, araziden gelen gözlem matrislerine (CORSIM) yakınsayan yoğunluk, hız ve akım matrisleri tahmin etmelidir. Bunun için Eşitlik (1), Eşitlik(2), Eşitlik (3), Eşitlik (4), Eşitlik (5) ve Eşitlik (6)'daki κ , η_{high} , η_{low} , τ , δ , v_f , p_{cri} , ρ_{max} , α , γ parametreleri kestirilmelidir.

Gözlem matrisleriyle, METANET tahmin matrislerinin farkını enküçükleyen METANET parametrelerini bulmak için aşağıdaki fonksiyon enküçüklenir.

$$J = \min_x \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^N \left[\left((\rho_{m,i}(k) - \hat{\rho}_{m,i}(\bar{x}, k))^2 + \xi (v_{m,i}(k) - \hat{v}_{m,i}(\bar{x}, k))^2 \right) \right] \quad (9)$$

M bağ, I yol kesim sayısı, N ise METANET modelinin tahmin yapacağı toplam zaman adımını göstermektedir. Çalışma bölgesinde ölçülen yoğunluk $\rho_i(k)$ ve gözlenen hız $v_i(k)$ 'dir. $\hat{\rho}_i(\bar{x}, k)$ ve $\hat{v}_i(\bar{x}, k)$ ise METANET'in \bar{x} parametre vektörüne göre tahmin ettiği yoğunluk ve hız değerleridir. \bar{x} parametre vektörü $\kappa, \eta_{high}, \eta_{low}, \tau, \delta, v_f, p_{cri}, p_{max}, a, \gamma$ METANET parametrelerini içerir. Model kalibre edilirken \bar{x} parametre vektörü için sınır değerler belirlenir. Bu nedenle kalibrasyon problemi doğrusal olmayan sınır değerli eniyileme problemine dönüşür. Eşitlikteki (ξ) ceza terimi, hız ve yoğunluk ölçeklerinden kaynaklanan skaler büyüklükleri dengelemek için kullanılır.

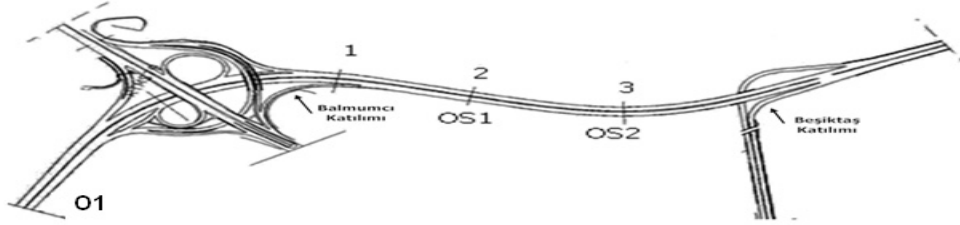
4. ÖRNEK ÇALIŞMA: O1 OTOYOLU

METANET modeli kullanarak trafik akımının modelleneceği çalışma bölgesi; akşam doruk saatlerinde trafik tıkanıklığı ve şok dalgaları gibi trafik olaylarının yaşandığı İstanbul O1 kentiçi otoyolunun Boğaziçi köprüsüne yakın ve trafiğin Avrupa'dan Asya yakasına aktığı 2.5 km'lik kentiçi otoyolu kesimidir. Yol kesiminde Balmumcu ve Beşiktaş olmak üzere iki katılım (Şekil 2) bulunmaktadır.

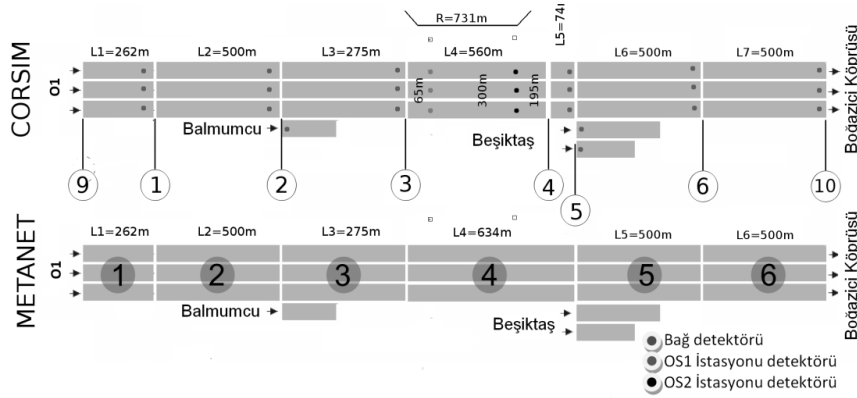
Çalışma bölgesinde değişen trafik akım koşulları nedeniyle, DHS çalışması yapmak trafikte meydana gelecek olaylar ya da koşulları önceden kestiren bir kontrol modelinin kullanılması için tahmin modeline ihtiyaç duyulur. METANET trafik akım modeli tahmin model olarak kullanılabilmesi için modelin kalibre edilmesi gerekir. Bu nedenle de METANET'in kalibrasyonu bu çalışmadan sonra yapılması istenen trafik kontrol çalışması için önemli bir aşamadır.

Birçok trafik kontrol çalışmasında, çalışma bölgesi üzerinde uygulanacak trafik kontrol uygulamaları ya da benzer senaryoların trafik akımına etkisini değerlendirmek için simülasyon yazılımları kullanılır. Kalibre edilmiş bir simülasyon yazılımı kullanılarak, istenen zamanda aralığında, herhangi bir kesitten trafik akım verileri üretilebilir. Bu amaçla çalışma bölgesi CORSIM stokastik mikroskobik simülasyon modeli ile benzetilmiştir [16]. Çalışmada Entegre Edilmiş Sistem Trafik Yazılımı TSIS [17] (Traffic Software Integrated System) 6.1 yazılım paketi kullanılmıştır. Bu paket CORSIM için ağ ve parametre girişlerini kolaylaştıran bir arayüzdür ve CORSIM'i kendi içinde barındırmaktadır. CORSIM kullanıcılara kentiçinde ve otoyollarda taşıtların hareketlerinin modellenmesini, bir başka deyişle taşıtların birbirleriyle, trafik kontrol donanımları ve yol geometrisi ile etkileşiminin modellenmesini sağlamaktadır. CORSIM ile DHS gibi kontrol araçları yardımıyla trafik sürecine müdahale edilebilmektedir. CORSIM'de simülasyon çalışması yapmak için öncelikle çalışma bölgesinin geometrik özelliklerinin yazılıma tanıtılması gerekir. Bu amaçla İstanbul Büyük Şehir Haritaları [18] ve Google Earth [19]'den yararlanılarak CORSIM'de çalışma bölgesine ilişkin geometrik bilgiler girilmiştir. Çalışma bölgesine trafik yüklemesi yapmak için, anaakım ve katılım bağlarındaki talep verilerine ihtiyaç duyulur. Arazide, 16.10.2007 tarihinde Avrupa yakasından Asya yakası doğrultusunda geçişlerin gerçekleştiği trafiğin akşam zirve saatinde, 16:23-17:30 saatleri arasında, taşınabilir kameralar ile çekimler yapılmıştır. Daha sonra kayıtlar incelenerek, haritalar ve GPS cihazlarından faydalanarak üç adet gözlem istasyonu belirlenmiştir. Bu istasyonlardan yapılan taşıt sayımları sonucunda trafik akımının türetilmiş değişkenleri (hız, yoğunluk ve akım) hesaplanmıştır. CORSIM ana simülasyon modülü FRESIM ve NETSIM olmak üzere iki simülasyon modelinin bütünleştirilmesiyle oluşmuştur. Bu

çalışma kentiçi otoyolunda uygulanacağı için CORSIM (CORridor SIMulation) simülasyon programının FREESIM simülasyon modeli kullanılmıştır.



Şekil 2. O1 Otoyolu çalışma bölgesi



Şekil 3. Çalışma bölgesinin CORSIM ve METANET geometrisi

Modele giriş noktalarından gözlenen talep değerleri, taşıt ve sürücü performansı ile ilgili parametreler girilerek, CORSIM 65 dakikalık verilerle kalibre edilmiştir. CORSIM için ısınma adı verilen ve kesimin yeterli sayıda taşıtla doymasını sağlayan zaman için bir sınır belirlenmemiş, bunun yerine kesimin doyunluğa ulaşacağı ana kadar ısınması seçeneği tercih edilmiştir. Şekil 3’de OS1 ve OS2 istasyonlarında yapılan gözlemler ile CORSIM’den aynı istasyonlardan alınan hız ve akım verileri Theil’s istatistiği kullanılarak karşılaştırılmıştır. Her iki istasyon için ortalama hız ve akım değerleri Theil’s istatistiği sırasıyla 0.07 ve 0.08 bulunmuştur. Sıfıra yakın değerler alması karşılaştırılan iki zaman serisinin benzer olduğunu gösterdiğinden, CORSIM kalibrasyonun başarılı olmuştur.

Bir sonraki aşama olan METANET kalibrasyonu için çalışma kesimi Şekil 3 de görüldüğü gibi 6 bağa ayrılmıştır. Her bağda bir kesim bulunmaktadır. Kalibrasyon için gerekli veriler trafik akımını mikroskobik olarak modelleyen CORSIM’den üretilmiştir. Çalışma bölgesinin CORSIM ağı üzerinde (Şekil 3) METANET geometrisine göre yerleştirilmiş olan dedektörlerden 10 saniye aralıklarla, 75 dakikalık benzetim süresi için 450x6 boyutunda yoğunluk (ρ), hız (v) matrisleri elde edilmiştir. Benzetim süresi gözlem

süresinden 10 dakika fazla seçilmiştir. Bundan amaç METANET kalibrasyonu için elde edilen verinin kalibrasyon için serbestlik derecesini arttırmaktır.

METANET modeli MATLAB fonksiyon olarak kodlanmıştır. MATLAB ortamına metanet1 adıyla kodlanan bu fonksiyon kalibrasyon parametrelerine karşılık 450x6 boyutunda yoğunluk ($\hat{\rho}$) ve hız (\hat{v}) matrisleri hesaplamaktadır.

Kalibrasyon için kullanılan enküçükleme doğrusal olmayan bir amaç fonksiyonuyla yapıldığından, bu tip problemlerin çözümünde ardışık kuadratik programlama, genetik algoritmalar ve patternsearch gibi çözüm algoritmaları kullanılmaktadır [20]. Çalışmada MATLAB içinde yerleşik bulunan fmincon fonksiyonu kullanılmıştır. fmincon MATLAB programı içinde sınır değerli eniyileme algoritmalarının kullanıldığı yerleşik bir fonksiyondur. fmincon ile eniyileme yaparken algoritmanın seçimi kullanıcıya bırakılır [21]. Kalibrasyonda fmincon fonksiyonu kullanmak için MATLAB içinde ayrıca amaç fonksiyonu kodlanmıştır. Bu fonksiyonun görevi eniyileme süreci boyunca metanet1 fonksiyonundan dönen matrislerden fmincon'a sayıl bir değer döndürmesidir.

Bu çalışmada METANET kalibrasyonu için sıralı kuadratik programlama algoritması seçilmiştir. Bunun nedeni, bu algoritmanın doğrusal olmayan kısıtlar ve sürekli amaç fonksiyonlarında başarılı sonuçlar vermesidir [14]. Sıralı kuadratik programlama sınır değerli bir eniyileme algoritmasıdır. Algoritma için sınır değerler vektörlerine ilave olarak başlangıç değerleri vektöründe girilmelidir. Başlangıç ve sınır değerler literatürden belirlenerek algoritmaya girilmiştir. Kalibrasyon süresini kısaltmak için öncelikle dengedeki hız eşitliği (4) içinde bulunan v_f , ρ_{cri} ve a değerleri CORSIM hız (v) ve yoğunluk (ρ) verileri kullanılarak seçilen %95 güven aralığında (4) eşitliği için eğri uydurma yöntemi ile kestirilmiştir. Daha sonra (7) eşitliğindeki fonksiyon başlangıç ve sınır değerler vektörleriyle birlikte enküçüklenmiştir.

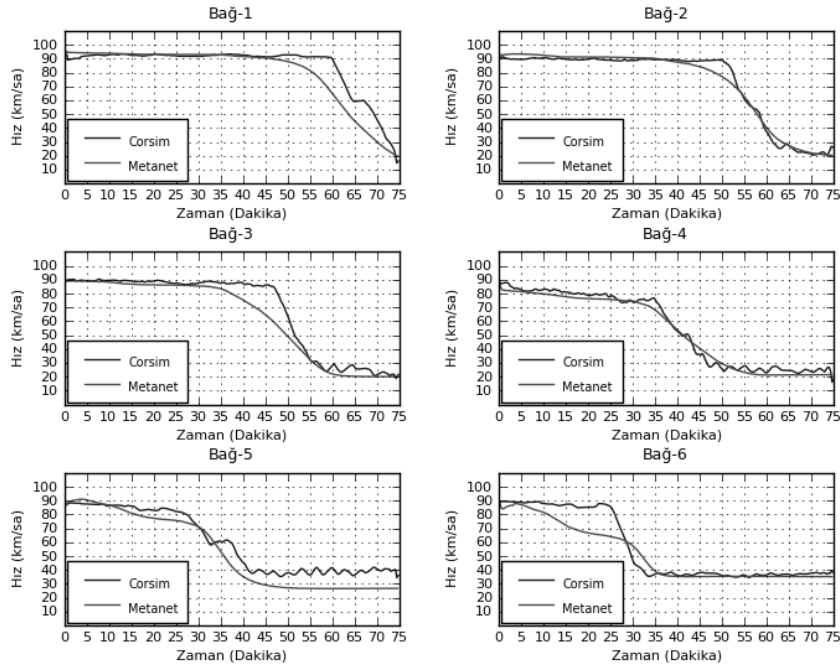
Tablo 1. Kestirilen METANET parametreleri

	κ	η_{low}	η_{high}	τ	Φ	γ
Tüm Bağlar	90	52.491	68.491	7.582	0	2.889
	δ	v_f	p_{cri}	α	p_{max}	
Bağ-1	-	95.19	47.95	3.03	-	
Bağ-2	-	101.1	45.81	1.7952	-	
Bağ-3	0.012	93.6	48.07	2.47	93.076	
Bağ-4	-	86.42	48.45	1.91	-	
Bağ-5	0.012	110.34	42.778	1.5385	143.21	
Bağ-6	-	105.23	30	3	-	

Kalibrasyon sonucunda kestirilen parametrelere ait değerler Tablo 1’de verilmiştir. Tablo 1’deki parametreler ile METANET’ in çalışma bölgesindeki bağlarda yoğunluk, hız ve akım tahminleri ile CORSIM’den elde edilen değerlerin karşılaştırılması, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir. Eğrilerden METANET modelinin CORSIM’e çok yakın tahminler yaptığı görülmektedir. Her bağa ait CORSIM ve METANET model tahminlerinin Theil's U1 istatistiği karşılaştırılması Tablo 2’de görülmektedir.

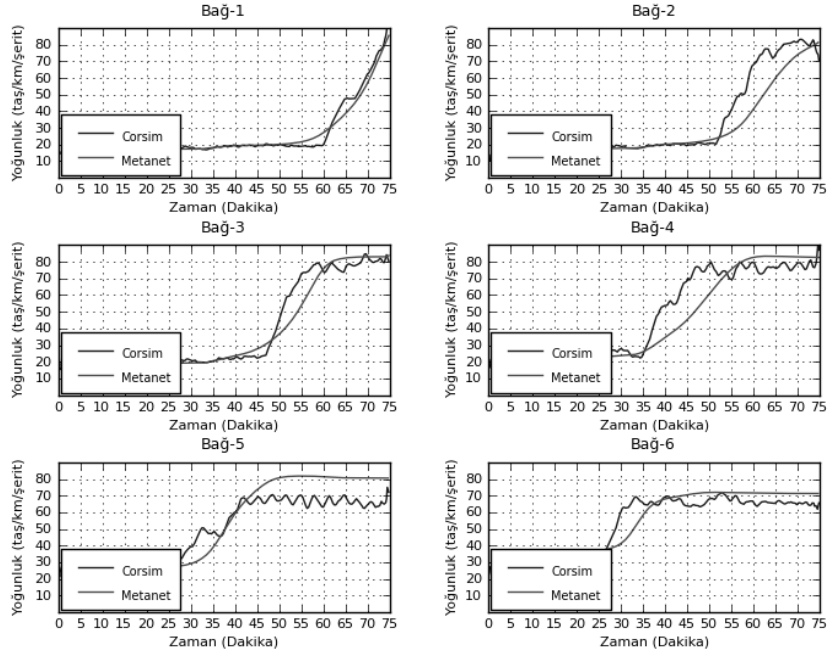
Tablo 2. CORSIM ve METANET Çıktılarının Theil's U1 istatistikleri

	Bağ-1	Bağ-2	Bağ-3	Bağ-4	Bağ-5	Bağ-6
Ortalama Hız	0.0533	0.0229	0.0609	0.0442	0.0717	0.0742
Yoğunluk	0.0465	0.1102	0.0597	0.0864	0.0827	0.0605
Akım	0.0319	0.0313	0.0484	0.0457	0.0250	0.0218

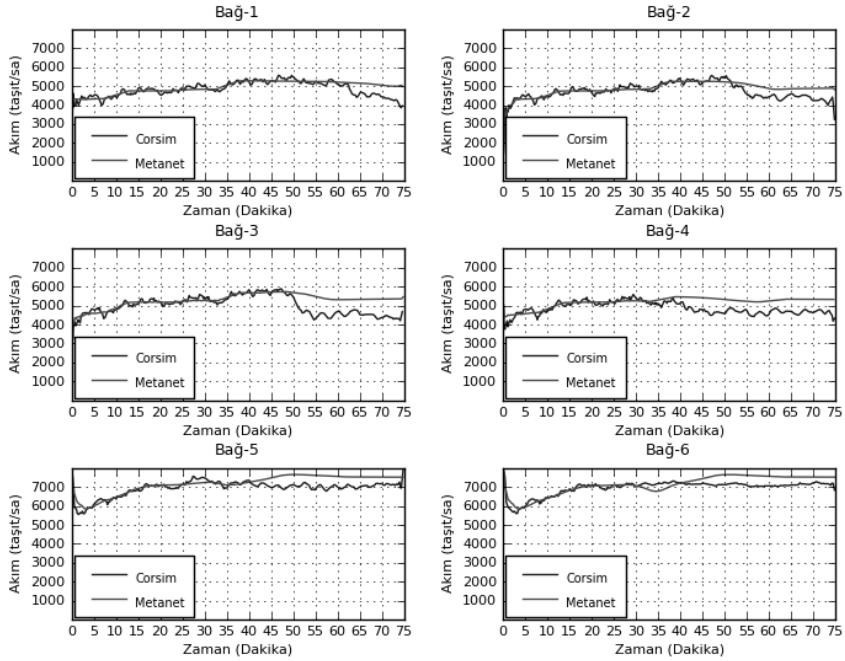


Şekil 4. Kalibre edilmiş METANET’in bağlardaki ortalama hız tahmini

Otoyolda Trafik Akımının Modellenmesi ve Model Kalibrasyonu: İstanbul O1 Örneği



Şekil 5. Kalibre edilmiş METANET'in bağlardaki yoğunluk tahmini



Şekil 6. Kalibre edilmiş METANET'in bağlardaki akım tahmini

Mikrosimülasyon yazılımları daha detaylı sonuçlar üretir ancak daha fazla hesaplama gücü ve zaman ister. Buna karşılık makroskopik modeller daha az hesaplama zamanlarına karşılık daha az detaylı sonuçlar üretir. İki model arasında bir ödünleşme vardır, bu nedenle her iki model yaklaşımının sonuçlarının birbir örtüşmesi beklenmese de istatistiksel sınımadan geçmesi gerekir.

5. SONUÇLAR

METANET kalibrasyonunun tamamlanmasıyla çalışma kesimindeki durum değişkenlerinin matematiksel modeli elde edilmiştir. METANET modeli trafik akımındaki kararsızlıkları, şok dalgalarını ve şişboynu etkilerini yansıtabilmektedir. Bununla birlikte METANET modelinin en kullanışlı yönü, modele DHS'nin değişken olarak eklenebilmesidir. Kalibre edilmiş METANET modeliyle trafik akımı tahmin edilerek model tabanlı kontrol yöntemiyle otoyolda DHS ve katılım denetimi gibi kontrol uygulamaları gerçekleştirmek mümkün olacaktır. Örneğin akım aşağı kesimde meydana gelen ya da gelecek olan bir tıkanmanın kestirilmesi ile akım yukarı kesimde bölgeye giren trafiğe sınırlama getirilerek, oluşacak şok dalgasının önlenmesi ya da etkisinin azaltılması sağlanabilir. Tahmin modeline dayalı DHS ile trafik akımı işletme ve güvenlik yönünden iyileştirmeler beklenmektedir. Otoyolda DHS ile dinamik eniyi hız kontrol değerinin nümerik yolla bulunma ve uygulaması yönüyle, METANET modelinin kalibrasyonu teşvik edici bir çalışmadır.

Semboller

v	: Hız (km/sa)
ρ	: Yoğunluk (taş/km/şerit)
k	: zaman adımı
m	: Bağ indisi
i	: Kesim indisi
q	: Akım (taş/sa)
T	: Zaman adım periyodu (sn)
λ	: Şerit sayısı
L	: Kesim uzunluğu (km)
τ	: Zaman sabiti (s)
V_d	: Dengedeki hız (km/sa)
η	: Öngörü parametresi (km ² /sa)
κ	: Öngörü parametresi (taş/km)
δ	: Katılım hız faktörü

Otoyolda Trafik Akımının Modellenmesi ve Model Kalibrasyonu: İstanbul O1 Örneği

- a : model parametresi
 v_f : serbest hız,(km/sa)
 ρ_{cr} : kritik yoğunluk (taşıt/km/şerit)
 v_{ctr} : Kontrol hızı (km/sa)
 α : Sürücü itaat katsayısı
 $\hat{\rho}$: Kestirilmiş yoğunluk (taşıt/km/şerit)
 \hat{v} : Kestirilmiş hız (km/sa)

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ulaştırma Doktora Programı bünyesinde tamamlanmış olup Hatice GÖÇMEN DEMİR'e ait doktora tezinden üretilmiştir. Yazarlar çalışmada katkısı bulunan kurum ve kişilere teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

- [1] Gedizlioğlu, E., Kentlerimizde Trafik Yönetimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Cilt 6, 434, 17-22, 2004.
- [2] Kim, Y., Traffic Flow Model Applying Dynamic Flow-Density Relations, Fachgeb: Technische Universität München, 2002.
- [3] Kotsialos A., Papageorgiou M., Motorway Network Traffic Control Systems, European Journal of Operational Research , 152, 321-333, 2004.
- [4] Lighthill, M.J., Whitham G. B., On Kinematic Waves. II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads, Proceedings of the Royal Society, London, 1955.
- [5] Richards, P., Shock Waves on the Highway, Operations Research, 4, 42-51, 1956.
- [6] Greenshields, B., A study of Traffic Capacity, %1 içinde Highway Research Board-National Research Council, Washington DC, 1935.
- [7] Payne, H., Models of Freeway Traffic Flow, In Simulation Council Proc, 1971.
- [8] Papageorgiou, M., Some Remarks On Macroscopic Flow Modeling, Transportation Research A, 4, 32, 323-329, 1998.
- [9] Daganzo, C., Requiem for Second-Order Fluid Approximations of Traffic Flow, Transportation Research B, 29, 4, 277-286, 1995.
- [10] Bellemans, T., Traffic Control on Motorways,:Doktora, Katholieke Universiteit Leuven, 2003.

- [11] Zhang, H., On the Consistency of a class of traffic models, *Transportation Research Part B:Methodological*, 1, 37, 101-105, 2003.
- [12] Papageorgiou M., Blosseville J. M., Hadj-Salem H., Modelling and real time control of traffic flow on the southern part of boulevard perihérique in Paris, *Modelling Transportation Research A*, 5, 25, 345-359, 1990.
- [13] Hegyi, A., *Model Predictive Control for Integrating Traffic Control Measures*, Doktora, Delft University of Technology, 2004.
- [14] Hegyi, A., De Schutter, B., Heelendoorn, J., MPC-Based Optimal Coordination of Variable Speed Limits To Shock Waves In Freeway Traffic Suppress, *Proceedings of the American Control Conference*, Denver, Colorado, 2003.
- [15] Burger, M., Hegyi, A., Schutter, B., De, Suitability of different mean speeds for model-based traffic control, *Proceedings of the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington, 2010.
- [16] ITT Industries, *CORSIM User Guide*, Colorado Springs: Systems Division.
- [17] ITT Industries, *TSIS User Guide Version 6.01*, McTrans, Colorado Springs: Systems Division.
- [18] İBB, *İstanbul Şehir Rehberi*, 2007. [Çevrimiçi]. url: <http://sehirrehberi.ibb.gov.tr>. [08 10 2007 tarihinde erişilmiştir].
- [19] Google Inc., *Google Earth*, 2007. [Çevrimiçi]. url: www.googleearth.com. [01 10 2007 tarihinde erişilmiştir].
- [20] Pardalos P., Resende M., *Handbook of Applied Optimization*, Oxford, Oxford University Press, 2002.
- [21] Mathworks, *MATLAB Optimization Toolbox*, 2009.

