

Ardışık Nesiller Balık Popülasyon Modelinde MSM ve MEM Stratejilerinin Hesaplanması*

Burcu Özgün[†] Özgen Öztürk[‡] Serkan Küçükşenel[§]

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

15.04.2016

Özet

Bu çalışmada, gerçek hayat sürdürülebilir balıkçılık kaynakları paylaşım problemlerinde uygulanmak üzere en iyi avlanma stratejilerinin neler olabileceği araştırılmıştır. Literatüre yeni bir katkı olarak biyoekonomik modelin biyolojik kısmı balık popülasyonu 4 periyottan oluşan ardışık nesiller modeli kullanılarak modellenmiş ve yaşa bağlı balık popülasyonu modellerinin temel eksiklikleri giderilmiştir. Ayrıca, farklı nesillerin yavru-lama dönemlerine katılımları, doğal ölümler, hayatta kalma dinamikleri ve her bir neslin ya da tüm biyokütlenin durağan duruma geçişleri de detaylı bir şekilde incelenmiştir. Birçok farklı kurulum altında Maksimum Sürdürülebilir Mahsul (MSM) ve Maksimum Ekonomik Mahsul (MEM) çözümleri detaylı bir şekilde karakterize edilmiş ve çözülmüştür. İlk olarak, MSM, literatürde daha önce hiç kullanılmamış, yeni bir metod olan kılavuz arama metodu ile çözülmüştür. Daha sonra MEM, hem tam ağ seçiciliği hem de kusurlu ağ seçiciliği kurulumlarında çözülmüş, son olarak da çok daha gerçekçi bir kurulumla geçilip, sabit fiyat varsayımı kaldırılarak çözümler hesaplanmıştır. Son olarak, MSM ve MEM karşılaştırılmış, MSM'deki avlanma oranlarının, MEM'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar, hem nümerik olarak hem teorik, hem de grafiksel olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Sürdürülebilir Mahsul, Maksimum Ekonomik Mahsul, Balıkçılık, Biyoekonomik Model

JEL sınıflandırma kodları: D04, D47, D78, Q22

*Bu araştırma TÜBİTAK tarafından 3501-114K957 Nolu proje ile desteklenmiştir.

[†]İktisat Bölümü, ODTÜ, Ankara 06800, Türkiye. E-posta: bozgun@metu.edu.tr.

[‡]İktisat Bölümü, ODTÜ, Ankara 06800, Türkiye. E-posta: oozturk@metu.edu.tr.

[§]İktisat Bölümü, ODTÜ, Ankara 06800, Türkiye. E-posta: kuserkan@metu.edu.tr.

İçindekiler

1 Giriş	3
2 Popülasyon Dinamiklerinin Ardışık Nesilsel Modellemesi	5
3 Maksimum Sürdürülebilir Mahsül (MSM)	10
4 Maksimum Ekonomik Mahsül(MEM)	13
4.1 Statik Problem	16
4.1.1 Tam Ağ Seçiciliği	16
4.1.2 Kusurlu Ağ Seçiciliği	17
4.1.3 Statik Problem için Sonuçlar	17
4.2 Dinamik Problem	18
4.2.1 Dinamik Problemin Kurulumu	18
4.2.2 Dinamik Problem için Sonuçlar	20
4.3 Bir Uzantı: Sabit Fiyat Varsayımının Kaldırılması	24
5 Sonuç ve Değerlendirmeler	31
Kaynaklar	33
Ekler	35

1 Giriş

Balıkçılık sektöründeki regülasyon ve denetimden sorumlu kurumlar, bu sektörün etkin olarak yönetimi için gerekli olan avlanma oranlarını belirleyebilmek için çeşitli ölçütlere ihtiyaç duymaktadır. Sürdürülebilir ve karlı bir balıkçılık sektörü hedefiyle, bu kurumlardan bazıları, ana hedef olarak Maksimum Sürdürülebilir Mahsul'ü (MSM) (ing. Maximum Sustainable Yield) bazıları da Maksimum Ekonomik Mahsul'ü (MEM) (ing. Maximum Economic Yield) tercih etmektedir. MSM avlanma koşulları bir kısıtlı optimizasyon probleminin çözümü sonucunda bulunur. Bu merkezi optimizasyon problemi, balık popülasyonunun biyolojik kısıtları altında, filoların toplam avlanma miktarlarının maksimize edilmesiyle çözülmektedir. Diğer taraftan, MEY avlanma koşulları ise aynı biyolojik kısıtlar altında bu defa filoların toplam karlılıklarının maksimize edilmesiyle bulunmaktadır.

Ülkelerin çoğu balıkçılık faaliyetlerini düzenlemek ve yönetmek amacıyla biyolojik, ekonomik ve politik kısıtları göz önüne almaktadır (Hilborn, 2007). Halen balıkçılık sektörü yönetim sistemi için hangi hedef düzeyinin daha uygun olacağı konusunda güncel bir tartışma mevcuttur. Örneğin, Avrupa Birliği Ortak Balıkçılık Politikası kapsamında ekonomik değeri bulunan tüm balık türleri için MSM hedefi uygulanmaktadır ve diğer yandan Avustralya Balıkçılık Yönetimi Yasası, Avustralya'da MEM stratejisi hedefini öncelik olarak almıştır (Dichmont vd., 2010). Bu sebeple her iki konsept de önemli olmakla beraber, MSM ve MEM avlanma düzeylerinin hesaplanması ve karşılaştırılması çalışmaları balıkçılık yönetim sistemleri tasarımı konusunda gerçek hayat pratiklerinin sonuçlarının öngörülebilmesi açısından çok gereklidir. Bu çalışma dinamik bir yaşa bağlı balık popülasyonu modeli kurarak konuyu değişik varsayımlar altında hem biyolojik hem de ekonomik açıdan ele almayı amaçlamaktadır.

Optimal avlanma stratejileri, literatürde birçok farklı biyolojik ve ekonomik varsayımlar altında çeşitli yaşa bağlı balık popülasyonu modelleri kurguları altında incelenmiştir. (Tahvonen 2009; Tahvonen vd. 2012; Skonhøft vd. 2012; Quaas vd. 2013; Holden ve Conrad 2015; Kanık ve Küçükşenel 2016). Geçmiş çalışmalarda, optimal avlanma koşullarını karakterize edip farklı teknolojilerin kullanımının, avlanma zamanının ve olasılıksal çevre

koşullarının optimal avlanma koşulları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte, bu çalışmalarda, MSM ya da MEM'den herhangi birisi alınıp incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmada ise, nümerik simülasyonlar yoluyla hem MSM hem MEM ayrı ayrı karakterize edilip hesaplanmış ve birbirlerine göre karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, sadece MEM-MSM kıyaslama açısından değil, literatüre birçok farklı açıdan da yenilikler getirmektedir. Öncelikle, birçok eksiği bulunan yaşa bağlı balık popülasyonu modeli yerine çok daha uygun ardışık nesiller modeli (ing. overlapping generations model-OLG) kullanılmış, daha sonra MSM hesaplanırken literatürde halihazırda kullanılan aralıklara göre çeşitli analizler yapma metodu yerine ise kılavuz arama (ing. grid-search) metodu kullanarak verilen hayatta kalma oranı ve çeşitli biyolojik balık popülasyon verilerine göre birebir optimal avlanma oranları hesaplanmıştır. Klasik balıkçılık biyokütle modellerinde, politika hedefi olarak MEM'in tercih edilmesinin sebebi, MEM'in hem ekonomik hem de biyolojik olarak hedeflere uygun olması yani hem karlılığın daha fazla olduğu hem de MEM altında (MSM'ye kıyasla) daha fazla balık biyokütlesine ulaşabileceği iddiasıdır (Grafton vd. 2012). Bununla birlikte MEM'e karşı da çeşitli eleştiriler bulunmaktadır (Christensen 2009; Clark vd. 2010). Bu çalışmada, her iki çözüm metodu da literatürdeki halihazırda kullanılan yaşa bağlı balık popülasyonu modelleri yerine gerçeğe daha uygun ardışık nesiller modeli kullanılarak kıyaslanmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, gerçek hayattaki balıkçılık yönetim sistemlerine, optimal avlanma oranları bağlamında çeşitli çözümler sunmaktır. Bu nedenle, kurulan modelin literatüre kıyasla çok daha gerçekçi olması sağlanmış ve bu çalışma ile biyoekonomik modelleme ve balıkçılık literatürüne birçok katkı sağlanmıştır. İlk olarak, birçok açıdan yetersiz olan yaşa bağlı balık popülasyonu modelleri yerine, balık popülasyonunun dinamiklerine çok daha uygun olan, daha esnek ve geliştirilmeye açık bir model yapısı sunan ardışık nesiller modeli kurulması literatüre bir yenilik getirmektedir. Bildiğimiz kadarıyla MSM literatüründe ilk kez nümerik çözüm yöntemi geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem "kılavuz arama" algoritmasıdır ve gerçek hayatta uygulanabilirlik sağlaması açısından önem arz etmektedir. Literatürdeki hakim yöntem, birebir optimal avlanma oranlarını hesaplayamamakta, bunun yerine bazı aralıklara göre çeşitli analizler yapmaktır. Kılavuz arama

metodu ise çok çeşitli kurulumlar ve parametreler altında güvenilir sonuçlar vermiş ve birbir optimal avlanma oranları hesaplanmıştır. MEM avlanma problemi ise tam karakterizasyon yapılmış ve çözümler ilk olarak statik sonra da dinamik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar önce sabit fiyat varsayımı altında elde edilmiş, daha sonra literatürden farklı olarak bu varsayım esnetilerek fiyatlar da kar maksimizasyon probleminde aktif bir parametre olarak yer almıştır. Bu sayede problemler gerçek hayat pratiklerine daha da yakınsamış ve çok boyutlu bir özellik kazanmıştır.

Bu makalenin geri kalan kısmı şu şekilde tasarlanmıştır: 2. Bölümde bahsedilen biyoekonomik model detaylarıyla açıklanmıştır. 3. Bölümde MSM çözüm metodolojisi ve kılavuz arama algoritması anlatılmıştır. 4. Bölümde ise MEM çözüm metodolojisi hem statik hem de dinamik ortamda önce sabit fiyat varsayımı ile daha sonra ise bu varsayım kaldırılarak tartışılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlarla ilgili önemli noktalar toparlanmıştır. Çeşitli kurulumlar altında kılavuz arama matrisleri ve duyarlılık analizi gibi bütün tamamlayıcı materyaller Ekler bölümünde sunulmuştur.

2 Popülasyon Dinamiklerinin Ardışık Nesil Modellemesi

Yenilenebilir kaynakların, MSM veya MEM seviyelerini analiz edebilmek için bahsedilen popülasyonun yaşam döngüsü davranışlarını iyi bir şekilde ortaya koymak gerekir. Her bir popülasyonun kendine ait dinamikleri vardır ve modellemenin bu dinamiklere uygun olarak yapılması gerekir. Bununla birlikte bir çok balık türünün en az birkaç yıl (sezon) yaşadığı göz önüne alındığında, kurulacak modelin yıl (sezon) bazında bir zaman boyutu içermesi gerektiği açıktır. Bu nedenle, yaşa bağlı balık popülasyonu modelleri balıkçılık sektörü için önem arz etmektedir. Literatürün erken dönemlerinde Clark (1957), Reed (1980), Getz ve Haight (1989) çalışmalarıyla bu boşluğu doldurmuşlardır.

Bununla birlikte, erken dönemlerde kurulmuş olan bu yaşa bağlı balık popülasyonu modelinin bazı eksiklikleri mevcut olup, yazında gerçek hayat dinamiklerine daha uygun modellerin eksikliği göze çarpmaktadır. Yaşa bağlı balık popülasyonu modelinde, üreme sonucu

balıklar yumurtadan hemen çıkar ve böylece aynı dönem içinde popülasyona katılırlar. Diğer bir deyişle, ebeveynleri ile aynı dönemde aynı yaşta olabilmektedirler. Balıkların gebelik dönemlerini ve yumurtadan çıktıktan sonraki süreyi göz ardı eden modelin bu konuda geliştirilmeye ihtiyaç duyduğu açıktır. Bu sebeple modellemede öncelikle bu yapının değiştirilmesi gerekmektedir.

Yaşa bağlı balık popülasyonu modellerinin bir diğer eksiği ise ileri yaş nesillerin ölümünün açık olarak modellenmemesidir. Bu modellerde ileri yaş neslindeki balıklar doğal nedenlerden dolayı hiçbir şekilde ölmekte, sadece avlanmayı beklemektedir. Zaten fiziksel olarak tüm ileri yaş balıkların avlanamayacağı açıktır. Ayrıca her yıl bazı balıkların avlanmaktan kurtulan belirli bir oranı olduğundan, modele göre eğer bir balık her yıl avlanmaktan kurtulacak kadar şanslıysa sonsuza kadar yaşayabilir. Sonuç olarak balıkların belirli bir yıl yaşadıkdan sonra avlanmasalar dahi öldükleri gerçeğini göz önüne alan bir modele ihtiyaç duyulduğu açıktır.

Ayrıca, optimal avlanma oranlarını belirlemenin dışında, bu modeller durağan duruma (ing. steady state) geçişin kaç yıl sürdüğü ve bu geçiş sürecinde neler olup bittiğini belirleme amacıyla da kullanılmaktadır. Yaşa bağlı balık popülasyonu modelleri, yukarıda bahsettiğimiz gibi yıl (sezon) yapısını tam olarak oturtamadığı için bu geçişi de net bir şekilde hesaplayamamaktadır. Sonuç olarak tüm bu eksiklikler nedeniyle, balık popülasyonlarının dinamiklerini literatürün şu ana kabul ettiği yaşa bağlı balık popülasyonu modeli dışında farklı bir şekilde modellenmesi gerektiği açıktır.

Ardışık nesiller modeli (OLG), balık popülasyonlarının yaşam döngüsü davranışlarını ve dinamiklerini gerektiği gibi modelleyebilmesinin yanında, halihazırda var olan biyolojik ve ekonomik kısıtlar altında sektörün ihtiyacı olan MSM ve MEM analizlerini de net bir şekilde hesaplamaya uygun bir altyapı sunmaktadır. OLG, temellerini Modigliani ve Brumberg (1954) ve Ando ve Modigliani (1963) çalışmalarının attığı modern makroekonomideki en önemli yaklaşımlardan biridir. OLG modellerinin ilk halleri Samuelson (1958) ve Diamond (1965) çalışmaları tarafından geliştirilmiş ve bugünkü kullanılan yaygın haline temel oluşturacak hale gelmiştir. O yıllardan sonra OLG modelleri birçok araştırmacı tarafından

değiştirilmiş/geliştirilmiş ve sadece iktisat alanında değil birçok alanda kullanılmaktadır.

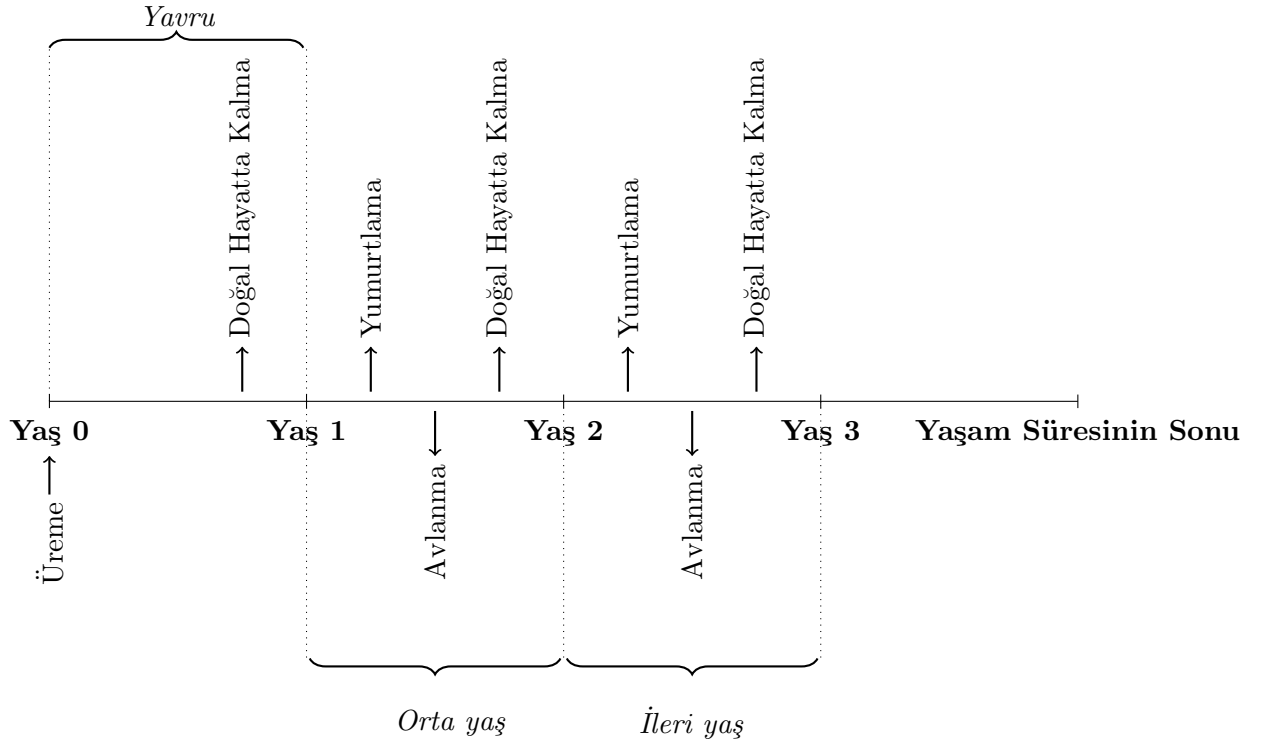
Bu çalışmada OLG modeli 4 farklı yaş grubu içermektedir. Buna göre balıklar toplamda 4 periyot olarak modellenmiş ve her bir “t” periyodunda, ekosistemde bütün balık nesillerinin yani 0, 1, 2 ve 3. yaşlardaki balıkların var olması sağlanmıştır. 3. Periyodun sonunda balıklar doğal nedenlerle ölmekte ve ekosistemi terk etmektedirler. Buna göre, balıkların zaman ve nesil boyutuna göre ekosistemdeki varlıkları aşağıdaki $m \times n$ matrisinde gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{s,t} & X_{s+1,t} & X_{s+2,t} & X_{s+3,t} \\ X_{s,t+1} & X_{s+1,t+1} & X_{s+2,t+1} & X_{s+3,t+1} \\ X_{s,t+2} & X_{s+1,t+2} & X_{s+2,t+2} & X_{s+3,t+2} \\ X_{s,t+3} & X_{s+1,t+3} & X_{s+2,t+3} & X_{s+3,t+3} \\ X_{s,t+4} & X_{s+1,t+4} & X_{s+2,t+4} & X_{s+3,t+4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

Şekil 1: Ekosistemde Zaman ve Jenerasyon Boyutları

Matrisin her bir elementi, nesil ve zaman bilgisi taşımaktadır. “t” zamanı belirtirken, “s” yaşı belirtir. Örneğin, ilk element, $X_{s,t}$, “t” zamanında “s” yaşında olan balıkların toplam sayısını temsil etmektedir.

Yavru olarak adlandırılan “0” yaşındaki balıklar, henüz erişkin olmamış olup boyutlarının ve ağırlıklarının yetersiz olması sebebiyle herhangi bir ekonomik değer taşımamaktadır. 1 ve 2 yaşındaki balıklar ise sırasıyla orta yaş ve ileri yaş olarak adlandırılmakta üreme/yumurtlama sürecine katılmaktadırlar. Son olarak 3 yaşındaki balıklar 2 yaşındaki avlanmadan kurtulan neslin devamıdır ve hayatının son yılını yaşayarak doğal sebeplerden dolayı periyot sonunda ölürlür. Şekil 2’de balık popülasyonunun yaşam döngüsü kısaca gösterilmiştir.



Şekil 2: Bir Neslin Yaşam Çizgisi

Her yıl, yeni doğan balıklar popülasyona katılırlar. Bu katılım, Beverton Holt üreme fonksiyonu ile modellenmiştir. Bu modele göre üremeye, orta yaş ve ileri yaş balıklar aşağıda denklem 1 de verildiği gibi katılırlar.

$$X_{0,t+1} = Rec(t+1) = \frac{a(X_{1,t} + \beta X_{2,t})}{b + X_{1,t} + \beta X_{2,t}} \quad (1)$$

Balıkların yaşam döngüsünde 1 periyot, 1 yıl teşkil ettiği için model, yavruların popülasyona, orta yaş ve ileri yaşların üremeye katılımlarından bir periyot sonra, katılmaları sağlanacak şekilde kurulmuştur. Bu periyot/sezon/yıl eşleşmesi farklı balık türleri için farklı şekillerde modellenebilir; herhangi bir eşleşme modelin açıklayıcı gücü açısından genellik kaybına yol açmaz. Üreme fonksiyonunda, “ a ” bir ölçekleme (ing. scaling) parametresi olup yumurtlama başına doğan maksimum yeni yavru sayısını temsil etmektedir. β doğurganlık (ing.

fertility) parametresi olup, orta yaş ve ileri yaş nesillerin doğurganlıklarını ayırtmak için kullanılmaktadır. “ b ” ise şekil (ing. shape) parametresidir.

$$X_{1,t} = X_{0,t-1}s_0 \quad (2)$$

Doğal ortamlarında sağ kalabilen yavrular, bir sonraki periyotta erişkin formunu alır ve orta yaş neslini oluştururlar. Denklem 2’de s_0 bir sonraki periyoda geçişteki hayatta kalma oranını (ing. survival rate) temsil eder.

Bununla birlikte orta yaş ve ileri yaş nesiller iki farklı şekilde ölebilirler. Birincisi doğal nedenlerle ölüm ve ikincisi avlanma sebebiyle ölüm. Modelde avlanma, gerçek hayatta olduğu gibi balıkların yumurtlama dönemlerinden sonra olacak şekilde tasarlanmıştır.

$$X_{2,t} = X_{1,t-1}s_1(1 - h_{1,t-1}) \quad (3)$$

$$X_{3,t} = X_{2,t-1}s_2(1 - h_{2,t-1}) \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4, orta yaş ve ileri yaş popülasyonlarının zamanla nasıl değiştiğini göstermektedir. s_1 ve s_2 sırasıyla orta yaş ve ileri yaş nesillerinin hayatta kalma oranlarını belirtirken, h_1 ve h_2 ise sırasıyla orta ve ileri yaşların avlanma oranlarını temsil etmektedir.

Farklı nesiller için belirli sayıdaki bir başlangıç popülasyonu ile başlayarak, model, popülasyon analizleri için kullanışlı ve faydalı bir yöntem sağlamakta ve farklı nesillerin periyotlar arasındaki geçiş süreci ile durağan durum değerlerini de gösterebilmektedir.

Çalışma boyunca tüm analizlerde ve çözüm metodolojilerinde balıkçılık sektörü tek bir temsili ajan (ing. representative agent) tarafından temsil edilmiştir. Bu temsili ajanın sonsuz sayıda ve aynı şekilde balıkçılık yapan ajanlardan oluştuğu varsayılmıştır. Bununla birlikte avlanmanın iki farklı filoya sahip olan bu temsili ajan tarafından yapıldığı varsayılmıştır.

3 Maksimum Sürdürülebilir Mahsül (MSM)

Bu kısımda, MSM kavramında sonsuz bir zaman ufkuunda balık popülasyonunun avlanması gereken optimum seviyesi araştırılmıştır. Araştırmacılar, Maksimum Sürdürülebilir Mahsül'ün gerçekte var olup olmadığı ya da bu seviyeye ulaşıp ulaşılamayacağı konusunda henüz bir konsensusa varamamıştır. Bu çalışma literatürdeki tartışmanın iki tarafında da yer almaktadır. Çalışmada uzun dönemde avlanmayı maksimum hale getirecek avlanma oranları bulunmuş ve bu yöntemdeki maksimum oran değiştirilerek farklı bakış açlarına göre çözüm yapılabileceğinden, önerilen hedefin gerçek hayatta ulaşıp ulaşılamayacağı tartışmasına değinilmemiştir.

Buradaki optimizasyon problemi, sosyal planlayıcının perspektifi ile yıllar boyunca avlanan toplam balık biyokütlesinin maksimizasyonudur. Analizlerde, sosyal planlayıcının gelecek yıllardaki avlanma oranlarını iskontoya uğratmadığı, bunun yerine tüm yıllara eşit önem verdiği varsayılmıştır. Optimizasyon problemi Denklem 5 ve 6'da verilmiştir. Denklemlerde Y_t , "t" anında toplam avlanan balık kütlesi, w_i ise ilgili yaş grubunun ağırlığını temsil etmektedir.

$$\max \sum_t^{\infty} Y_t \quad (5)$$

$$Y_t = h_{1,t}w_1X_{1,t} + h_{2,t}w_2X_{2,t} \quad (6)$$

Yukarıdaki optimizasyon problemi, Denklem 1,2,3 ve 4'ün birlikte oluşturduğu biyolojik sınırlamalar altında çözülmüştür. Tablo 1'de problemin çözümü için kalibre edilen parametreler verilmiştir.

Tablo 1: MSM için Parametreler

Sembol	Tanım	Değer
a	Üreme fonksiyonunda ölçekleme (scaling) parametresi	1500 (balık sayısı)
β	Üreme fonksiyonunda doğurganlık parametresi	1.5
b	Üreme fonksiyonunda şekil(shape) parametresi	500 (balık sayısı)
s_0	Yavruların bir periyottan diğerine hayatta kalma oranı	0.6
s_1	Orta yaşların bir periyottan diğerine hayatta kalma oranı	0.7
s_2	İleri yaşların bir periyottan diğerine hayatta kalma oranı	0.7
w_0	Yavruların Ağırlığı	1 (kg/balık)
w_1	Orta yaşların Ağırlığı	2 (kg/balık)
w_2	İleri yaşların Ağırlığı	3 (kg/balık)

Avlanma oranları için problem çözülmüş ve sonsuz ufuk boyunca mahsülü maksimize eden h_1 ve h_2 değerleri hesaplanmıştır. Problemin çözümü için kılavuz arama algoritması koşturulmuş ve h_1 ve h_2 parametrelerinin $[0.01, 0.99] \times [0.01, 0.99]$ aralığında her bir olası değere tekabül eden “toplam avlanan biyokütle” matrisi hesaplanmıştır. Son olarak ise matristeki en yüksek “toplam avlanan biyokütle”yi veren h_1 ve h_2 ikilisi problemin çözümü olarak sunulmuştur. Tablo 1’de sunulan parametrelere göre h_1 ve h_2 değerlerini algoritma, sırasıyla 0.01 ve 0.99 olarak hesaplamıştır. Bu oranlar, verilen parametreler değiştiği takdirde kendini güncellemektedir. Bununla birlikte, simülasyonun h_2 ’yi 0.99 olarak hesaplaması beklendik bir durumdur, zira balıklar ileri yaş dönemlerinde avlanmadıkları takdirde bir sonraki yıl doğal sebeplerle öldüğünden, MSM konsepti içinde filoların tüm ileri yaş neslini avlaması gerekmektedir. Algoritma da bu nedenle h_2 için olabilecek en yüksek değeri seçmektedir.

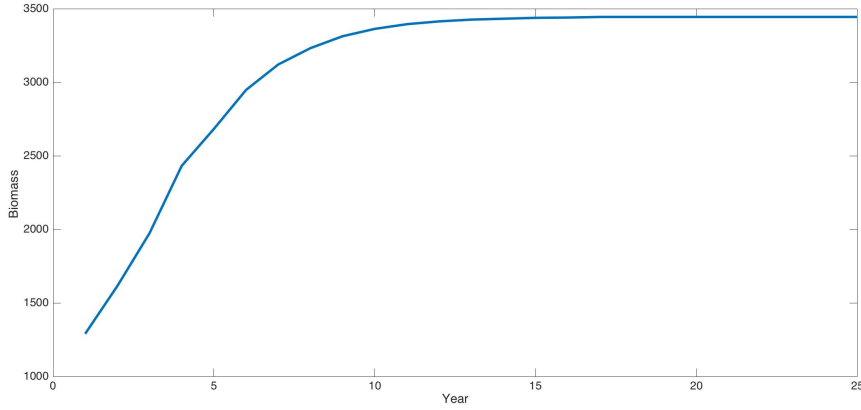
	$h_{0.01}^2$	$h_{0.02}^2$	$h_{0.03}^2$	$h_{0.04}^2$	\dots	$h_{0.96}^2$	$h_{0.97}^2$	$h_{0.98}^2$	$h_{0.99}^2$
$h_{0.01}^1$	26.72	40.34	53.96	67.58	\dots	1320.62	1334.24	1347.86	1361.48
$h_{0.02}^1$	39.56	53	66.44	79.88	\dots	1316.36	1329.8	1343.24	1356.68
$h_{0.03}^1$	52.41	65.7	78.99	92.28	\dots	1314.96	1328.25	1341.54	1354.83
$h_{0.04}^1$	65.19	78.3	91.41	104.52	\dots	1310.64	1323.75	1336.86	1349.97
$h_{0.05}^1$	77.96	90.92	103.88	116.84	\dots	1309.16	1322.12	1335.08	1348.04
	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
$h_{0.95}^1$	807.95	808.4	808.85	809.3	\dots	850.7	851.15	851.6	852.05
$h_{0.96}^1$	806.76	807.12	807.48	807.84	\dots	840.96	841.32	841.68	842.04
$h_{0.97}^1$	805.37	805.64	805.91	806.18	\dots	831.02	831.29	831.56	831.83
$h_{0.98}^1$	803.78	803.96	804.14	804.32	\dots	820.88	821.06	821.24	821.42
$h_{0.99}^1$	800.01	800.1	800.19	800.28	\dots	808.56	808.65	808.74	808.83

Şekil 3: $s_0 = 0.6$, $s_1 = 0.7$ ve $s_2 = 0.7$ değerleri için kılavuz arama matrisi

Teorik olarak, kurduğumuz model ileri yaş neslinin tamamının avlanması gerektiğini işaret etmesine rağmen, gerçek hayatta bir popülasyondaki spesifik bir balık neslinin tamamının kayıpsız olarak avlanması neredeyse sonsuz bir çaba gerektirir. O yüzden bu noktada, maksimum sürdürülebilir mahsülün gerçek bir optimal çözüm noktası değil, ulaşılması gereken bir nokta olarak düşünülmesi gerekir. Yani MSM seviyesine ne kadar yaklaşırsa avlanılan toplam balık biyokütlesi de o kadar artacaktır. Bununla birlikte, model şu açıdan daha gerçekçi hale getirilebilir: herhangi bir filonun, bahsedilen balık neslinin, sonlu bir çabayla en fazla yüzde kaçını avlayabileceği modele fiziksel bir sınırlama olarak koyulabilir (biyolojik sınırlamalarla beraber). Böyle bir fiziksel kısıtla model, maksimum avlanma oranını tercih edecektir.

Her bir nesil için başlangıç değerleri verilmiş, yukarıdaki bahsedilen algoritmada hesaplanan h_1 ve h_2 değerleri kullanılarak, sonsuz zaman ufkunda tüm nesillerin nüfusları

biyolojik sınırlamalar altında ayrı ayrı hesaplanmıştır. Modele göre 14 yıllık bir geçiş sürecinden sonra popülasyon durağan durum seviyesine ulaşmıştır . Ayrıca, Şekil 4'ten de görülebileceği üzere bahsedilen avlanma oranları ile simülasyon sonuçları ekosistemdeki toplam balık biyokütlesinin artacağına işaret etmektedir.



Şekil 4: Önerilen Hasat Stratejisi ile Toplam Biyokütlenin Zamana Bağlı Gelişimi

4 Maksimum Ekonomik Mahsül(MEM)

Biyokütle hedefi belirlemek, balıkçılık sektörü açısından ciddi bir problem teşkil etmektedir. Çünkü ekonomik mahsülü maksimize etmenin yanı sıra hem karlılık hem de sürdürülebilirlik kısıtları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu biyokütle hedefi temel alınarak, konu ile ilgili düzenlemeler, politika oluşturma süreçleri ve çeşitli filo ve balıkçılık teknolojileri için kota paylaşımları iyi tasarlanmış bir mekanizma gerekmektedir. Bu problem Warming (1911), Gordon (1954), Scott (1955) ve Schaefer (1957)'nin etkili çalışmalarıyla uzun zamandır tartışılmıştır. Bununla birlikte Yaşa Bağlı Balık Popülasyonu Modellerin yer aldığı, Skonhoft vd. (2012) ve Skonhoft ve Gong (2014) gibi daha güncel çalışmalar da Maksimum Ekonomik Mahsül problemini tartışmıştır.

Bu çalışmada, OLG kurulumu kullanılarak Maksimum Ekonomik Mahsül problemi hem statik hem de dinamik açıdan ele alınmıştır. Temsili ajan iki tür filoya sahip olduğundan

MEM problemi aynı zamanda bir seçim problemi de içermektedir. Bu çalışmada bu seçime dair iki farklı varsayım yapılmış ve her iki varsayım altında çıkan sonuçlar ayrı ayrı sunulmuştur. Bununla birlikte her filonun sadece hedeflediği balık neslini avladığı varsayılmıştır. İlk varsayımda, her filo tipi sadece kendi hedeflediği balık neslini avlamakla birlikte hedef dışı herhangi bir balık avlamamaktadır. Çalışma boyunca, bu varsayıma tam ağ seçiciliği (ing. perfect fishing selectivity) denilmiştir. İkinci varsayım ise kusurlu ağ seçiciliği (ing. imperfect fishing selectivity) olarak adlandırılmakla birlikte her bir filo yine tek bir nesli hedefleyip bu defa diğer balık neslinden de hedefdışı olarak yakalamaktadır.

Modelin simüle edilmek istenilen ekosistemin özelliklerini yansıtabilmesi için, modelin çözümünde kullanılan parametreler, uygun değerlerle kalibre edilmiştir. Bu parametreler ve kalibre edilen değerler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2: MEM için Parametreler

Sembol	Tanım	Değer
a	Üreme fonksiyonunda ölçekleme (scaling) parametresi	1500 (balık sayısı)
β	Üreme Fonksiyonunda Doğurganlık Parametresi	1.5
b	Üreme fonksiyonunda şekil(shape) parametresi	500 (balık sayısı)
s_0	Yavruların bir Periyottan Diğetine Hayatta Kalma Oranı	0.6
s_1	Ortayaşların bir Periyottan Diğetine Hayatta Kalma Oranı	0.7
s_2	İleriyaşların bir Periyottan Diğetine Hayatta Kalma Oranı	0.7
w_0	Yavruların Ağırlığı	1 (kg/balık)
w_1	Orta yaşların Ağırlığı	2 (kg/balık)
w_2	İleri yaşların Ağırlığı	3 (kg/balık)
w_3	Yaşlıların Ağırlığı	3 (kg/balık)
p_1	Orta yaşların Fiyatı	1 (Euro/kg)
p_2	İleri yaşların Fiyatı	1 (Euro/kg)
c_1	1. Balıkçı Filosunun Efor Maliyeti	0.25 (Euro/efor)
c_2	2. Balıkçı Filosunun Efor Maliyeti	0.25 (Euro/effort)
μ	Hasat Fonksiyonunda Stok Etkisi	0.08
η	Balıkçılık Eforunun Marjinal Üretimi	0.2
q_1	1. Filonun Yakalayabilirlik Katsayısı	0.05 (1/efor)
q_2	2. Filonun Yakalayabilirlik Katsayısı	0.05 (1/efor)
\tilde{q}_1	1. Filonun Hedef Dışı Yakalayabilirlik Katsayısı	0.01 (1/efor)
\tilde{q}_2	2. Filonun Hedef Dışı Yakalayabilirlik Katsayısı	0.01 (1/efor)
r	Faiz Oranı	0.10

4.1 Statik Problem

Statik problem, MEM için tek periyotluk bir çözüm yöntemidir. Bu yöntem adından da anlaşılacağı üzere durağan bir yapıya sahip olup, sosyal planlayıcı geçmişe ya da geleceğe önem vermediğinden, bu tür çözümlerde zaman boyutu göz önünde bulundurulmamaktadır. Sosyal planlayıcı, içinde bulunan periyotta o anki ekosistemde var olan balık sayılarına göre bir optimizasyonu yapmaktadır.

4.1.1 Tam Ağ Seçiciliği

Ekonomik Mahsül, bu çalışmada ekonomik kar anlamıyla kullanılıp, toplam avlanan biyokütleden elde edilen gelirlerden, toplam maliyetin (Euro/kg) çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

$$\max \Pi_t \quad (7)$$

$$\max \sum_i [p_i h_i - C_i] \quad (8)$$

Statik problem için hedef fonksiyonu Denklem 7 ve 8 ile tanımlanmıştır. Bu denklemlerde p_i , i yaşındaki balığın sabit fiyatı, benzer şekilde h_i ve C_i ise i yaşındaki balıkların sırasıyla avlanma oranı ve avlanmanın toplam maliyetini temsil etmektedir. Toplam kar ise ekonomik olarak değer taşıyan balık nesillerinin avlanmasıyla elde edilen karın toplanmasıyla elde edilir. Denklem 9'dan da görülebileceği gibi verilen bir yaş grubu için avlanma oranı, eforun bir fonksiyonu olarak Grafton vd. (2010)'ın çalışması temel alınarak oluşturulmuştur.

$$h_i = q_i (b_i)^\mu E_i^\eta \quad (9)$$

Denklem 9'da μ mahsül miktarının bahsi geçen neslin popülasyonuna duyarlılığını gösteren stok etkisini, η avlanma çabasının marjinal ürününü, q_i yakalayabilirlik katsayısını ve b_i aşağıdaki şekilde tanımlanan biyokütle endeksini göstermektedir:

$$b_i = \frac{X_i w_i}{\sum_i X_i w_i} \quad i = 0, 1, 2, 3 \quad (10)$$

C_i ile temsil edilen maliyet, Denklem 11'den de görülebileceği gibi eforun doğrusal bir fonksiyonu olup, c_i ise birim efor başına düşen sabit maliyettir.

$$C_i = c_i E_i \quad (11)$$

4.1.2 Kusurlu Ağ Seçiciliği

Kusurlu Ağ Seçiciliği koşulu altında model, avlanma fonksiyonu hariç tam ağ seçiciliği modeli ile hemen hemen aynıdır. Bu defa modelde, $i \in \{1, 2\}$ filosu, i yaşındaki balıkları avlamakla birlikte, hedefdışı olarak (istemeden), j yaşındaki balıkları da avlamaktadır. Bu durum, modele Denklem 12'deki şekilde entegre edilmiş ve bunun için Skonhott vd. (2012) çalışması temel alınarak hedefdışı yakalayabilirlik katsayısı \tilde{q}_i tanımlanmıştır. Bununla birlikte \tilde{h}_i ise hedefdışı avlanma oranını temsil etmektedir.

$$\tilde{h}_i = \tilde{q}_i (b_i)^\mu E_j^\eta \quad (12)$$

Dolayısıyla i yaşındaki balıkların toplam avlanma oranı, Denklem 13'te tanımlandığı gibi hedeflenerek ve hedefdışı olarak avlanan oranların toplamıdır.

$$h_i^{total} = h_i + \tilde{h}_i \quad (13)$$

4.1.3 Statik Problem için Sonuçlar

Statik modelde, MEM sonuçları, Tam Ağ Seçiciliği koşulu için Denklem 1, 2, 3 ve 4'te verilen biyolojik kısıtlar ve Denklem 9 ve 11'de verilen ekonomik kısıtlar altında kar maksimizasyonu yapılarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte Kusurlu Ağ Seçiciliği koşulu için sonuçlar yine benzer şekilde Denklem 1, 2, 3 ve 4'te verilen biyolojik kısıtlar ile hesaplanmaktadır ama

bu defa ekonomik kısıtlar Denklem 12 ve 13 ile tanımlanmıştır. Tüm sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: MEM - Statik Çözüm

	h_1	h_2	E_1	E_2	Kar
Tam	0.0846	0.0841	0.0677	0.0673	0.1345
Kusurlu	0.0238	0.0236	0.0159	0.0158	0.0395

Statik çözüm metodunda orta yaş ve ileri yaşların hemen hemen aynı eforlar sarfedilerek benzer oranlarda avlandığı görülmektedir. Ayrıca hedef dışı avlanma kurulumunun karlılığı düşürdüğü görülmüştür.

4.2 Dinamik Problem

Bahsettiğimiz kurulumda dinamik problem, gerçek hayattaki problemleri modellemeye daha uygundur. Bunun sebebi, sosyal planlayıcının, bir politikanın gelecekteki tüm etkilerini hesaba katacak olmasıdır. Bu çerçevede, sosyal planlayıcı balıkçılık sektörünün bugünkü ve gelecekteki tüm karlarını maksimize etmeye çalışır. Statik problemin aksine, bu bölümde, modeldeki tüm değişkenler zaman boyutu da içerir. Bu nedenle statik modeldeki tek indisli değişkenler yerine, dinamik modelde tüm değişkenler iki indis içerir. Balığın ait olduğu nesil i ile belirtilirken, t ise içinde bulunulan zamanı göstermektedir.

4.2.1 Dinamik Problemin Kurulumu

Tam ağ seçiciliği ve kusurlu ağ seçiciliği koşulları altında dinamik MEM probleminde, temsili ajanın avlanarak elde ettiği gelir maksimize edilmektedir. Bu gelir, denklem 7' ve 8'den de görülebileceği üzere ajanın bugünkü ve gelecekteki karlarının zamana göre iskonto edilip toplanmasıyla elde edilmektedir.

Ekonomik değişkenlerin, zamana bağlı versiyonları aşağıda verilmiştir.

$$\max \sum_t (1+r)^t \Pi_t \quad (7')$$

$$\max \sum_t \sum_i (1+r)^t [p_{i,t} h_{i,t} - C_{i,t}] \quad (8')$$

$$h_{i,t} = q_i (b_{i,t})^\mu E_{i,t}^\eta \quad (9')$$

$$b_{i,t} = \frac{X_{i,t} w_i}{\sum_i X_{i,t} w_i} \quad i = 0, 1, 2, 3 \quad (10')$$

$$C_i = c_i E_{i,t} \quad (11')$$

$$\tilde{h}_{i,t} = \tilde{q}_i (b_{i,t})^\mu E_{j,t}^\eta \quad (12')$$

$$h_{i,t}^{total} = h_{i,t} + \tilde{h}_{i,t} \quad (13')$$

Hedefdışı yakalamanın modele entegre edilmesi avlanma koşullarını değiştirdiği gibi bazı biyolojik kısıtları da değiştirmektedir. Denklem 1 ve 2'deki üremeyi ve yavruları belirleyen biyolojik kısıtlar aynı kalırken, orta yaş ve ileri yaş balıkların kısıtları aşağıdaki gibi olacaktır:

$$X_{2,t} = X_{1,t-1} s_1 (1 - h_{1,t-1} - \tilde{h}_{1,t-1}) \quad (14)$$

$$X_{3,t} = X_{2,t-1} s_2 (1 - h_{2,t-1} - \tilde{h}_{2,t-1}) \quad (15)$$

Dinamik problem tam ağ seçiciliği ve kusurlu ağ seçiciliği koşulları altında, hem za-

man hem nesil boyutunda iki boyutlu olarak, toplam iskonto edilmiş karların maksimize edilmesinden oluşmaktadır.

4.2.2 Dinamik Problem için Sonuçlar

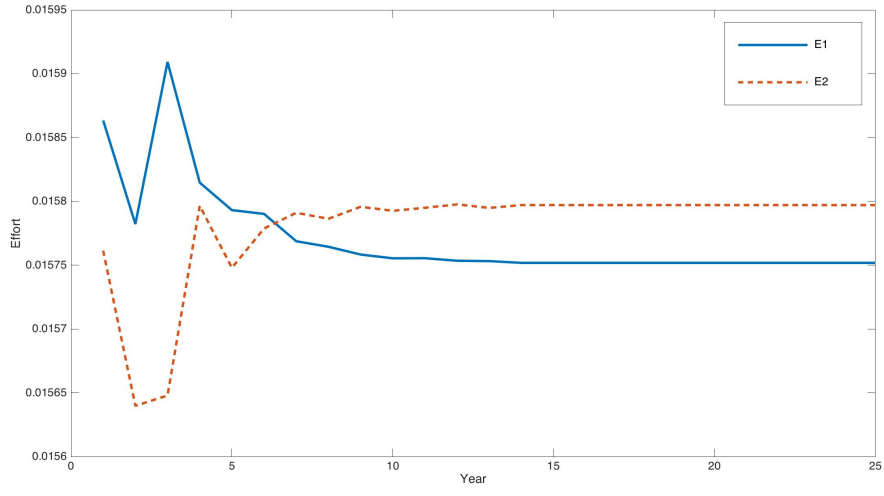
Dinamik problem çözümü ile birlikte gösterge başlangıç durumuna optimal efor seviyeleri ile avlanma oranlarının konulmasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Tam ağ seçiciliği ve kusurlu ağ seçiciliği koşulları altında, tüm nesillerden balıkların popülasyonunun artması sonucu ekosistemdeki toplam biyokütle artmıştır. Her iki koşul altında da önerilen avlanma oranlarına sadık kalındığı takdirde toplam karlılığın arttığı görülmektedir.

Tablo 4'te tam ağ seçiciliği koşullarında balık popülasyonunun optimal avlanma oranlarındaki dinamikleri özetlenmiştir. Durağan duruma 14 yılda ulaşılmaktadır. Ayrıca, her iki tür filonun da zamana karşı efor grafikleri Şekil 5'te sunulmuştur. Buradan da görülebileceği üzere, maksimum ekonomik problem çözümü altında sadece orta yaş neslini avlayan filonun sarfettiği eforun, sadece ileri yaş neslini avlayan filoya göre daha az çıkmaktadır.

Tablo 5'te, gösterge başlangıç durumu verildiğinde, kusurlu ağ seçiciliği koşullarında balık popülasyonunun optimal avlanma oranlarındaki dinamikleri sunulmuştur. Bu koşullarda ise durağan duruma 15 yılda ulaşılmaktadır.

Tablo 4: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Balık Popülasyonu Dinamikleri
(Balık Sayısı Cinsinden)

$Yıl$	X_0	X_1	X_2	X_3	h_1X_1	h_2X_2	π
1	750	400	250	120	7.9317	4.9254	0.0000
2	912	450	274	172	8.8775	5.3566	0.0314
3	949	547	309	188	10.8780	6.0440	0.0316
4	1003	569	375	212	11.2482	7.4046	0.0316
5	1040	602	390	257	11.8843	7.6771	0.0315
6	1055	624	413	268	12.3164	8.1458	0.0316
7	1070	633	428	283	12.4770	8.4482	0.0316
8	1077	642	434	294	12.6510	8.5641	0.0316
9	1082	646	441	298	12.7249	8.7074	0.0316
10	1085	649	443	303	12.7816	8.7452	0.0316
11	1086	651	445	304	12.8210	8.7859	0.0315
12	1088	652	447	305	12.8391	8.8269	0.0316
13	1089	653	447	307	12.8585	8.8254	0.0316
14	1089	653	448	307	12.8574	8.8464	0.0316
15	1089	653	448	307	12.8574	8.8464	0.0316
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
20	1089	653	448	307	12.8574	8.8464	0.0316
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
50	1089	653	448	307	12.8574	8.8464	0.0316

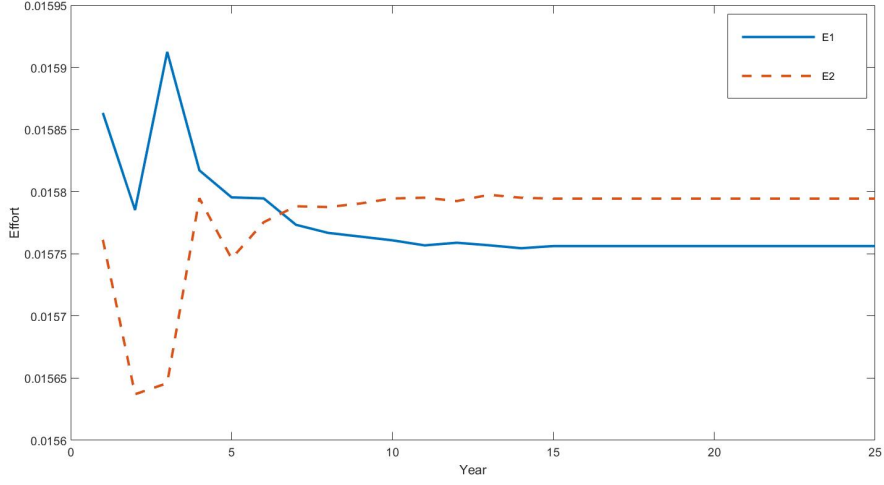


Şekil 5: Tam Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Her iki Filo Tarafından Sergilenen Eforun Zamana Bağlı Değişimi

Tablo 5: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Balık Popülasyonu Dinamikleri (Balık Sayısı Cinsinden)

$Yıl$	X_0	X_1	X_2	X_3	h_1X_1	h_2X_2	π
1	750	400	250	120	9.5160	5.9118	0.0000
2	912	450	273	171	10.6517	6.4054	0.0393
3	948	547	308	187	13.0488	7.2325	0.0394
4	1003	569	374	211	13.4993	8.8613	0.0395
5	1040	602	389	256	14.2618	9.1888	0.0394
6	1055	624	411	266	14.7831	9.7260	0.0395
7	1069	633	426	281	14.9773	10.0884	0.0395
8	1077	641	433	291	15.1605	10.2536	0.0394
9	1081	646	438	296	15.2760	10.3738	0.0394
10	1084	649	442	299	15.3443	10.4710	0.0394
11	1086	650	444	302	15.3641	10.5187	0.0394
12	1087	652	444	303	15.4133	10.5170	0.0394
13	1087	652	446	305	15.4115	10.5676	0.0394
14	1088	652	446	305	15.4092	10.5660	0.0394
15	1088	653	446	305	15.4345	10.5656	0.0394
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
20	1088	653	446	305	15.4345	10.5656	0.0394
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
50	1088	653	446	305	15.4345	10.5656	0.0394

Şekil 6'da kusurlu ağ seçiciliği koşullarında her iki filonun da zamana karşı efor grafikleri sunulmuştur. Tam ağ seçiciliği koşulundaki sonuçlara benzer şekilde sadece ileri yaş neslini hedefleyen filonun sarfettiği eforun, orta yaş neslini hedefleyen filonun eforundan daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6: Kusurlu Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Her iki Filo Tarafından Sergilenen Eforun Zamana Bağlı Değişimi

4.3 Bir Uzantı: Sabit Fiyat Varsayımının Kaldırılması

Modelleme ve simülasyon çalışmalarında, modele birtakım uzantılar eklenerek, genel olarak ajanların gerçek yaşam döngülerine yaklaşılmaya çalışılır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken husus, modele bu uzantılar eklenirken, modeli çözülemeyecek kadar karmaşıklaştırmamaktır. Çalışmanın bu bölümünde modele uzantı olarak sabit fiyat varsayımı kaldırılmıştır. Çünkü, sabit fiyat yaklaşımı kaldırılarak ajanların gerçek yaşam döngülerine daha fazla yakınsamak mümkün olabilmektedir. Maliyetler ve fiyatlar, maksimum ekonomik mahsül probleminin en önemli belirleyicileri olmakla birlikte, dikkatli bir şekilde ele alınıp modellenmelidir. Bu çalışmada, talebin esnek olmadığı varsayılmıştır ve bu varsayımdan hareketle, arz fonksiyonu denklem 16'daki gibi tanımlanmıştır. Denklemde ζ kesim noktası terimini, θ ise eğim katsayısı olarak tanımlanmıştır.

$$p_{i,t}^{eqm} = \zeta_{i,t} + \theta_i Q_{i,t}^s \quad (16)$$

Denklem 16'da, Q^s arz edilen miktarı tanımlar ve ilgili periyottaki ilgili neslin avlanan

toplam biyokütlesine eşittir. Fiyatlar, Euro Sent (¢) cinsinden tanımlanmıştır. Ayrıca, denklem 17'den görülebileceği üzere, kesim noktası parametresi yaşa ve zamana bağlı olacak şekilde modellenmiştir.

$$\zeta_{i,t} = -\rho_i w_i X_{i,t} \quad (17)$$

Kesim noktası terimi, ilgili neslin popülasyonu ters ilişkilidir. Çünkü avlanmaya uygun balık miktarı azaldıkça, denge fiyatı artmaya meyillendir ve bu da arz edilen miktarın artmasına neden olur (mekanizma tersi şekilde de çalışmaktadır).

Kusurlu ağ seçiciliği koşulu altında, tam ağ seçiciliğinden tek farkı, arz edilen miktarın Q^s , formülasyonudur. Bu durumda, Q^s denklem 18'deki gibi tanımlanmıştır; yani hedeflenerek ve hedefdışı olarak yakalanan miktarın toplamıdır.

$$Q_{i,t}^s = X_{i,t} w_i h_{i,t}^{total} \quad (18)$$

Sabit fiyat varsayımı kaldırılırken modelin geri kalanı aynı şekilde kalmaktadır ve yeni parametrisasyon Tablo 6'da gösterilmiştir¹

¹Arz fonksiyonunun parametreleri yazarlar tarafından seçilmiş ve seçilen parametreler için yapılan duyarlılık analizleri eklerde verilmiştir

Tablo 6: İçsel Fiyatlarla MEM Problemi için Parametreler

Symbol	Definition	Value
a	Üreme Fonksiyonunda Ölçekleme (Scaling) Parametresi	1500 (balık sayısı)
β	Üreme Fonksiyonunda Doğurganlık Parametresi	1.5
b	Üreme Fonksiyonunda Şekil (Shape) Parametresi	500 (balık sayısı)
s_0	Yavruların bir Periyottan Diğere Hayatta Kalma Oranı	0.6
s_1	Orta yaşların bir Periyottan Diğere Hayatta Kalma Oranı	0.7
s_2	İleri yaşların bir Periyottan Diğere Hayatta Kalma Oranı	0.7
w_0	Yavruların Ağırlığı	1 (kg/balık)
w_1	Orta yaşların Ağırlığı	2 (kg/balık)
w_2	İleri yaşların Ağırlığı	3 (kg/balık)
w_3	Yaşlıların Ağırlığı	3 (kg/balık)
c_1	1. Balıkçı Filosunun Efor Maliyeti	0.25 (Euro/efor)
c_2	2. Balıkçı Filosunun Efor Maliyeti	0.25 (Euro/efor)
μ	Hasat Fonksiyonunda Stok Etkisi	0.08
η	Balıkçılık Eforunun Marjinal Üretimi	0.2
q_1	1. Filonun Yakalayabilirlik Katsayısı	0.05 (1/efor)
q_2	2. Filonun Yakalayabilirlik Katsayısı	0.05 (1/efor)
\tilde{q}_1	1. Filonun Hedef Dışı Yakalayabilirlik Katsayısı	0.01 (1/efor)
\tilde{q}_2	2. Filonun Hedef Dışı Yakalayabilirlik Katsayısı	0.01 (1/efor)
r	Interest rate	0.10
θ	Arz Fonksiyonunun Eğimi	0.8
ρ	Arz Fonksiyonunu Kesim Noktası Terimi	0.03

Sabit fiyat varsayımının kaldırılmasının iki yönlü bir etkisi vardır. Amaç fonksiyonu artık içsel fiyatlara bağlı olduğundan, ajanlar bu fiyatlardan hem etkilenmekte hem de

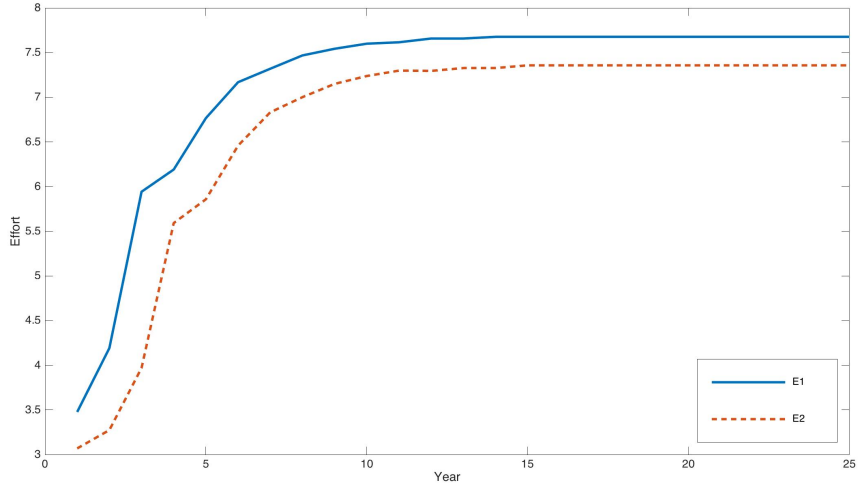
davranışları ve kararları sebebiyle bu fiyatların ortaya çıkmasından sorumludurlar. Bu aşamada herhangi bir bilgi asimetrisine izin verilmemektedir; ajanlar eforlarının ve avlanma kararlarının sonuçlarının tamamen farkındadırlar ve önceki kısımlarda olduğu gibi ekosistemdeki mevcut biyokütleyi doğru bir şekilde tahminleyebilmektedirler.

Fiyatların değişken olarak modele eklenmesi tam ve kusurlu ağ seçiciliği koşulları altında aşağıdaki sonuçları vermektedir.

Tablo 7: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Balık Nüfus Dinamiklerinin (Balık Sayısı Cinsinden) İçsel Fiyatlarla Zamana Göre Değişimi

<i>Yıl</i>	X_0	X_1	X_2	X_3	h_1X_1	h_2X_2	$p_1(\text{₺})$	$p_2(\text{₺})$	π
1	750	400	250	120	23.3098	14.1363	21.9757	13.8856	0.0000
2	912	450	266	167	27.1466	15.0037	37.7145	18.0603	8.3775
3	944	547	299	177	35.6351	17.4949	88.9719	33.6467	21.0321
4	998	566	361	199	36.9979	22.8337	97.1005	79.8818	32.0827
5	1033	599	374	239	39.7588	23.7581	118.5743	89.4780	38.7865
6	1048	620	395	247	41.6340	25.6449	133.9730	110.8229	46.8658
7	1062	629	408	261	43.0789	26.8098	139.9153	124.9451	51.4085
8	1069	637	414	269	43.4261	27.7976	146.0297	131.5587	54.3066
9	1073	641	419	273	43.4261	28.0701	148.9995	137.5017	56.3532
10	1076	644	422	276	43.6910	28.2540	151.3155	141.0463	57.7052
11	1078	646	424	278	43.7700	28.2476	152.8726	143.4715	58.6267
12	1080	647	425	279	43.9587	28.2476	153.6553	144.6950	59.0918
13	1080	647	426	280	43.9556	28.3428	153.5168	145.9534	59.3575
14	1080	648	426	280	44.0469	28.3402	154.4364	145.9469	59.5636
15	1080	648	426	280	44.0445	28.4348	154.4364	145.9469	59.5636
16	1080	648	426	280	44.0437	28.4343	154.4364	145.9469	59.5636
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	1080	648	426	280	44.0437	28.4343	154.4364	145.9469	59.5636
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
50	1080	648	426	280	44.0437	28.4343	154.4364	145.9469	59.5636

Tablo 7’de de özetlendiği gibi, ekosistemdeki toplam biyokütle ve ajanların kazandığı toplam kar önceki durumlarda da olduğu gibi artmaktadır ve durağan duruma 16 yılda ulaşılmaktadır. Kilogram başına balık fiyatı durağan durumda yaklaşık €1.5’dir.



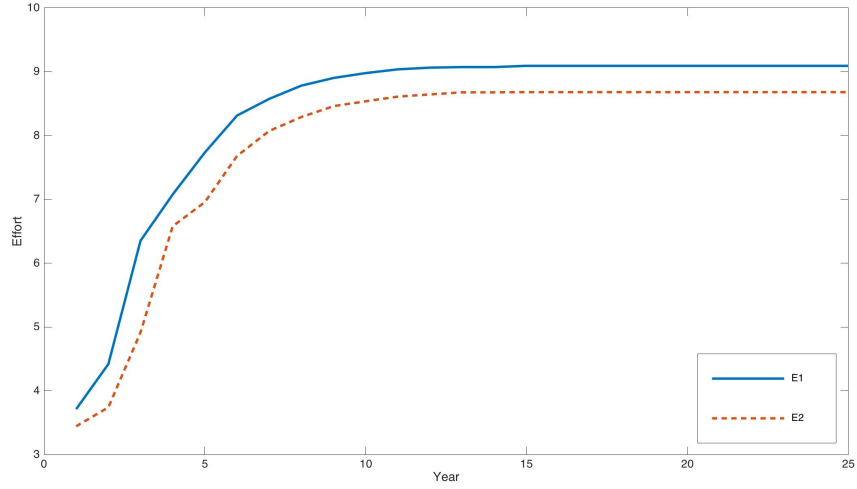
Şekil 7: Tam Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Her İki Ağ Tarafından Sergilenen Efor Miktarlarının İçsel Fiyatlarla Zamana Bağlı Değişimi

Şekil 7 tam ağ seçiciliği koşulu altında ve içsel fiyatlarla her iki filo tarafından ortaya konan efor düzeylerini göstermektedir. İki filonun davranış biçiminin düzeyler dışında çok benzer olduğu gözlemlenmiştir. Birinci filonun efor seviyesi ikinci filonun efor seviyesinin üzerindedir.

Tablo 8: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Balık Nüfus Dinamiklerinin (Balık Sayısı Cinsinden) İçsel Fiyatların Zamana Göre Değişimi

Yıl	X_0	X_1	X_2	X_3	h_1X_1	h_2X_2	$p_1(\text{₺})$	$p_2(\text{₺})$	π
1	750	400	250	120	28.2703	17.4022	21.2324	19.2653	0.0000
2	912	450	260	163	32.7561	18.2996	25.4097	20.5190	1.2538
3	940	547	292	169	43.0059	21.7957	35.9895	26.0296	1.9551
4	995	564	353	189	45.3547	27.9708	38.7275	35.3599	2.5020
5	1029	597	363	228	48.7910	29.0356	42.2456	37.0155	2.7399
6	1043	617	384	234	51.2012	31.3581	44.9019	40.6996	3.0510
7	1057	626	396	247	52.2564	32.6542	46.0502	42.7301	3.2057
8	1064	634	402	254	53.1754	33.3246	47.0406	43.7991	3.3078
9	1068	638	407	258	53.6561	33.8779	47.5697	44.6769	3.3785
10	1071	641	409	261	53.9979	34.1034	47.9367	45.0382	3.4145
11	1073	643	411	262	54.2394	34.3304	48.2031	45.4030	3.4464
12	1074	644	412	264	54.3522	34.4391	48.3236	45.5739	3.4607
13	1074	644	413	264	54.3649	34.5503	48.3438	45.7506	3.4708
14	1075	645	413	265	54.3609	34.5477	48.3375	45.7446	3.4692
15	1075	645	413	265	54.4704	34.5512	48.4526	45.7528	3.4761
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	1075	645	413	265	54.4704	34.5512	48.4526	45.7528	3.4761
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
50	1075	645	413	265	54.4704	34.5512	48.4526	45.7528	3.4761

Tablo 8 kusurlu ağ seçiciliği koşulunda ve içsel fiyatlarla balık popülasyonunun dinamiklerini özetlemektedir. Önerilen hasat stratejisi ile ekosistemdeki biyokütlenin arttığı gözlemlenmiştir. 15 yılda ulaşılan durağan durumda balığın kilogram fiyatı yaklaşık olarak €0.5'dur.



Şekil 8: Kusurlu Ağ Seçiciliği Koşulu Altında Her İki Ağ Tarafından Sergilenen Efor Miktarlarının İçsel Fiyatlarla Zamana Bağlı Değişimi

Şekil 8 kusurlu ağ seçiciliği koşulu altında ve içsel fiyatlarla her iki filo tarafından ortaya konan efor düzeylerini göstermektedir. Birinci filonun efor seviyesi yine ikinci filonun efor seviyesinin üzerindedir.

5 Sonuç ve Değerlendirmeler

Bu çalışma balık popülasyonunun yeni bir yöntemle modellenmesini ve MSM ve MEM problemleri için yeni çözüm teknikleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen modelleme ve çözüm yöntemleri balıkçılık sektörü için, sürdürülebilir balıkçılık yönetimi, biyoçeşitlilik tartışmaları, ortak denizlerde kota dağılımı ve benzeri politika yapımı konuları için uygun bir çerçeve sağlamaktadır.

Model, temsili ajan varsayımı altında tek tipli ve 4-dönemlik bir ardışık nesiller modeli olarak tasarlanmıştır. Öncelikle, çalışma MSM probleminin çözümü için bir *kılavuz arama yöntemi* (Grid-search algoritması) yöntemi önererek optimal hasat oranları bulmaktadır. Sonrasında ise MEM problemi sabit fiyat varsayımı altında analiz edilmiş ve tam ağ seçiciliği

ve kusurlu ađ seçiciliği koşulları altında yine optimal hasat oranları için çözülmüştür. Son olarak, sabit fiyat varsayımı terkedilerek modele fiyatların model içinde içsel olarak hesaplandığı bir özellik kazandırılmıştır.

Konuyla ilgili gelecek çalışma, gerçek yaşam pratiklerine daha da yakınsayabilmek amacıyla modele stokastik çevresel şokların eklenmesi olacaktır. Sonraki çalışmalar için diğer bir fikir de modelin farklı balık tipleri ile zenginleştirilerek av-avcı ilişkisini de içerecek şekilde ekosistemi tüm dinamikleri ile modellemeye çalışmaktır. Yazında eksik olduğu düşünölen bir diğer konu ise balıkçılık sektörünü içeren bir dinamik stokastik genel denge modelidir. Hanehalklarının balık kaynaklarının sürdürülebilirliğinin miras güdüsü ile içerildiği bir fayda fonksiyonu ile optimizasyon yaptığı, balık ürünleri ve diğer ürünlerin bulunduğu bir piyasa modeli çerçevesinde fiyatların ekonomideki karar alıcıların davranışlarınıca belirlendiği, stokastik çevresel şokların içerildiği bir model tasarlanmaya çalışılacaktır.

Kaynaklar

- Andersen, P. (1983). 'On Rent of Fishing Grounds': a Translation of Jens Warming's 1911 Article, with an Introduction. *History of Political Economy*, Fall 1983 15(3): 391-396
- Ando, A. ve Modigliani, F. (1963). The life cycle hypothesis of saving: aggregate implications and tests. *The American Economic Review*, 53(1), 55-84
- Baverton, R. J. H. ve Holt, S.J. (1957). *On the dynamics of exploited fish populations*. Gt. Britain, Fishery Invest., Ser. II.
- Christensen, V. (2009). MEY=MSY. *Fish and Fisheries*, 11, 105-110.
- Clark, C. (1990). *Mathematical Bioeconomics*, Wiley: New York.
- Clark, C.W., Munro, G.R., VE Sumaila, U.R. (2010). Limits to privatization of fishery resources. *Land Economics*, 86, 209-218.
- Diamond, P. (1965). National debt in a neoclassical growth model. *American Economic Review*, 55(5) 1126-1150
- Dichmont, C.M., Pascoe, S., Kompas, T., Punt, A.E. ve Denga, R. (2010). On implementing maximum economic yield in commercial fisheries. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 107,16-21.
- Getz, W. ve Haight, R. (1989). *Population harvesting*. Princeton University Press: Princeton
- Gordon, H.A. (1954). The economic theory of a common property resource: the fishery. *Journal of Political Economy*, 62, 124-142
- Grafton, R. K., Kompas, T., Chu, L. ve Che, N. (2012). Maximum economic yield. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54, 273-280
- Hilborn, R. (2007). Defining success in fisheries and conflicts in objectives. *Marine Policy*, 31, 153-158.
- Holden, M. H., ve J. M. Conrad. (2015). Optimal Escapement in Stage-structured Fisheries with Environmental Stochasticity. *Mathematical Biosciences*, 269:76-85.
- Kanık, Z., ve S. Küçükşenel. (2016). Quota Implementation of the maximum sustainable yield for age-structured fisheries. *Mathematical Biosciences*, baskıda.
- Modigliani, F., ve Brumberg, R. (1979). Utility analysis and aggregate consumption

functions: An attempt at integration. A. Abel (red.), *The collected papers of Franco Modigliani*, 2.

Quaas, M., T. Requate, K. Ruckes, A. Skonhøft, N. Vestergaard, ve R. Voss. (2013). Incentives for Optimal Management of Age-Structured Fish Populations. *Resource and Energy Economics*, 35:113-34.

Reed, W. (1980). Optimum age-specific harvesting in a nonlinear population model. *Biometrics* 36, 579-593

Samuelson, P. A. (1958). An exact consumption-loan model of interest with or without the social contrivance of money. *Journal of Political Economy*, 66(6), 467–482

Schaefer, M. B. (1957). Some consideration of population dynamics and economics in relation to the management of the commercial marine fisheries. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 14(5), 669–681

Scott, A. T. (1955). The fishery: the objectives of sole ownership. *Journal of Political Economy*, 63, 116-124

Skonhøft, A., Vestergaard, N. ve Quaas, M. (2012). Optimal harvest in an age structured model with different fishing selectivity. *Environmental and Resource Economics*, 51, 525-544

Tahvonen, O. (2009). Optimal harvesting of age-structured schooling fishery. *Environmental and Resource Economics*, 24, 147-169.

Tahvonen, O., Quaas, M., Schmidt, J., Voss, R. (2012). Optimal harvesting of age-structure fish populations. *Marine Resource Economics*, 54, 21-39.

EKLER

Ek 1: Farklı Hayatta Kalma Oranları için Kılavuz Arama Matrisleri

	$h_{0.01}^2$	$h_{0.02}^2$	$h_{0.03}^2$	$h_{0.04}^2$...	$h_{0.96}^2$	$h_{0.97}^2$	$h_{0.98}^2$	$h_{0.99}^2$
$h_{0.01}^1$	9, 11	12, 5	15, 89	19, 28	...	331, 16	334, 55	337, 94	341, 33
$h_{0.02}^1$	14, 69	18, 02	21, 35	24, 68	...	331, 04	334, 37	337, 7	341, 03
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮	⋮
$h_{0.20}^1$	107, 32	109, 84	112, 36	114, 88	...	346, 72	349, 24	351, 76	354, 28
$h_{0.21}^1$	111, 66	114, 12	116, 58	119, 04	...	345, 36	347, 82	350, 28	352, 74
$h_{0.22}^1$	115, 92	118, 32	120, 72	123, 12	...	343, 92	346, 32	348, 72	351, 12
$h_{0.23}^1$	120, 59	122, 96	125, 33	127, 7	...	345, 74	348, 11	350, 48	352, 85
$h_{0.24}^1$	125, 22	127, 56	129, 9	132, 24	...	347, 52	349, 86	352, 2	354, 54
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮	⋮
$h_{0.98}^1$	215, 63	215, 66	215, 69	215, 72	...	218, 48	218, 51	218, 54	218, 57
$h_{0.99}^1$	205, 92	205, 92	205, 92	205, 92	...	205, 92	205, 92	205, 92	205, 92

Şekil 9: $s_0 = 0.4$, $s_1 = 0.4$ ve $s_2 = 0.5$ Değerleri için Kılavuz Arama Matrisi

	$h_{0.01}^2$	$h_{0.02}^2$	$h_{0.03}^2$	$h_{0.04}^2$...	$h_{0.96}^2$	$h_{0.97}^2$	$h_{0.98}^2$	$h_{0.99}^1$
$h_{0.01}^1$	0, 09	0, 12	0, 15	0, 18	...	2, 94	2, 97	3	3, 03
$h_{0.02}^1$	0, 15	0, 18	0, 21	0, 24	...	3	3, 03	3, 06	3, 09
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮	⋮
$h_{0.14}^1$	0, 87	0, 9	0, 93	0, 96	...	3, 72	3, 75	3, 78	3, 81
$h_{0.15}^1$	0, 93	0, 96	0, 99	1, 02	...	3, 78	3, 81	3, 84	3, 87
$h_{0.16}^1$	0, 99	1, 02	1, 05	1, 08	...	3, 84	3, 87	3, 9	3, 93
$h_{0.17}^1$	0, 34	0, 34	0, 34	0, 34	...	0, 34	0, 34	0, 34	0, 34
$h_{0.18}^1$	0, 36	0, 36	0, 36	0, 36	...	0, 36	0, 36	0, 36	0, 36
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱	⋮	⋮	⋮	⋮
$h_{0.98}^1$	1, 96	1, 96	1, 96	1, 96	...	1, 96	1, 96	1, 96	1, 96
$h_{0.99}^1$	1, 98	1, 98	1, 98	1, 98	...	1, 98	1, 98	1, 98	1, 98

Şekil 10: $s_0 = 0.2$, $s_1 = 0.2$ ve $s_2 = 0.3$ Değerleri için Kılavuz Arama Matrisi

Ek 2: Duyarlılık (Sensitivity) Analizi

Tablo 9: MEM, Dinamik Problem, Tam Ađ Seęicilięi, Duyarlılık Analizi

μ	η	β	h_1	h_2	E_1	E_2
0.08	0.20	1.5	0.0197	0.0197	0.0158	0.0158
0.02	0.20	1.5	0.0217	0.0217	0.0173	0.0173
0.14	0.20	1.5	0.0179	0.0180	0.0143	0.0144
0.08	0.15	1.5	0.0239	0.0240	0.0143	0.0144
0.08	0.25	1.5	0.0161	0.0161	0.0161	0.0161
0.08	0.20	1.0	0.0197	0.0197	0.0158	0.0158
0.08	0.20	2.0	0.0197	0.0197	0.0158	0.0158

Tablo 10: MEM, Dinamik Problem, Kusurlu Ađ Seęicilięi, Duyarlılık Analizi

μ	η	β	h_1	h_2	E_1	E_2
0.08	0.20	1.5	0.0236	0.0237	0.0158	0.0158
0.02	0.20	1.5	0.0260	0.0260	0.0173	0.0173
0.14	0.20	1.5	0.0215	0.0216	0.0143	0.0144
0.08	0,15	1.5	0,0287	0,0287	0,0144	0,0144
0.08	0,25	1.5	0,0193	0,0194	0,0161	0,0161
0.08	0.20	1.0	0.0236	0.0237	0.0158	0.0158
0.08	0.20	2.0	0.0236	0.0237	0.0158	0.0158

Tablo 11: MEM, Dinamik Problem, Tam Ađ Seęicilięi, İçsel Fiyatlar, Duyarlılık Analizi

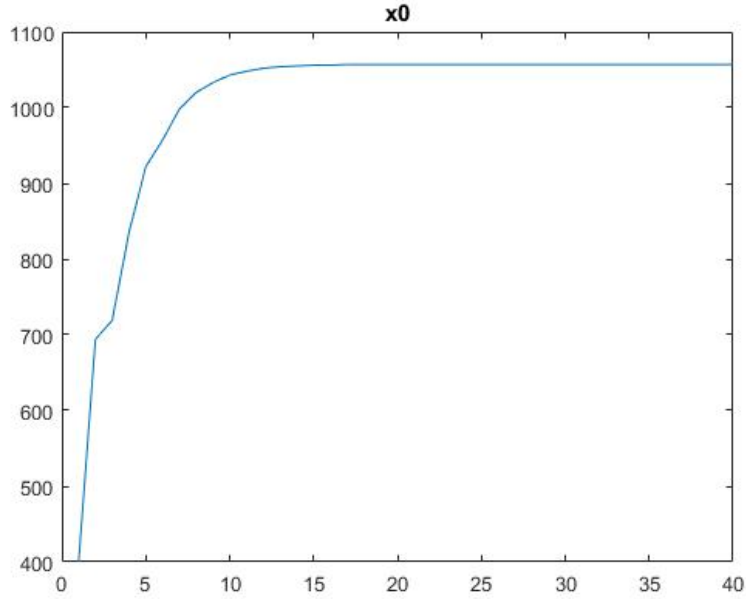
μ	η	β	ρ	θ	h_1	h_2	E_1	E_2
0.08	0.20	1.5	0.03	0.80	0.0681	0.0674	7.6765	7.3572
0.02	0.20	1.5	0.03	0.80	0.077	0.0761	9.8103	9.2776
0.14	0.20	1.5	0.03	0.80	0.0601	0.0596	5.992	5.8171
0.08	0.15	1.5	0.03	0.80	0.0553	0.0552	3.8121	3.7588
0.08	0.25	1.5	0.03	0.80	0.0934	0.0904	17.9041	16.045
0.08	0.20	1.0	0.03	0.80	0.0663	0.0657	6.7276	6.4809
0.08	0.20	2.0	0.03	0.80	0.0693	0.0686	8.4026	8.0364
0.08	0.20	1.5	0.02	0.80	0.0645	0.0639	5.861	5.6341
0.08	0.20	1.5	0.04	0.80	0.0572	0.0568	3.225	3.1286
0.08	0.20	1.5	0.03	0.75	0.0591	0.0587	3.7901	3.6905
0.08	0.20	1.5	0.03	0.85	0.0634	0.0629	5.3900	5.1953

Tablo 12: MEM, Dinamik Problem, Kusurlu Ağ Seçiciliği, İçsel Fiyatlar, Duyarlılık Analizi

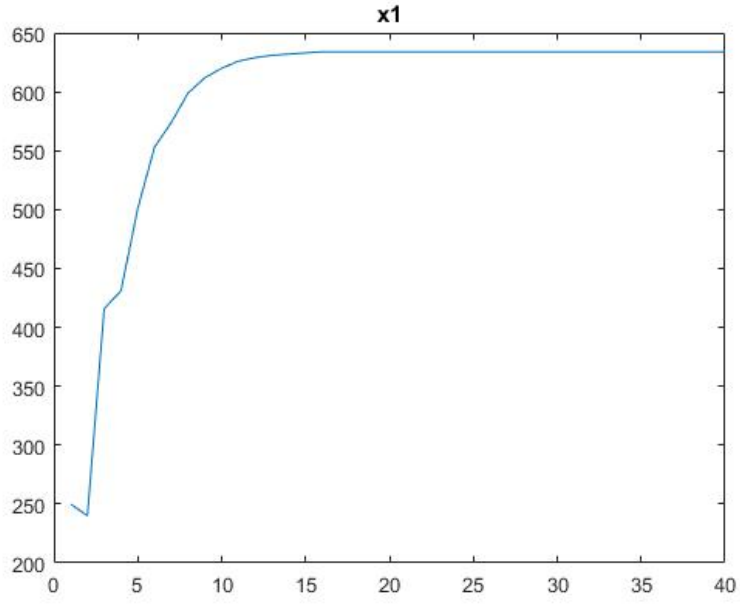
μ	η	β	ρ	θ	h_1	h_2	E_1	E_2
0.08	0.2	1.5	0.03	0.80	0.0845	0.0837	9.0928	8.6806
0.02	0.2	1.5	0.03	0.80	0.0965	0.0957	12.2329	11.6085
0.14	0.2	1.5	0.03	0.80	0.0736	0.073	6.6422	6.4091
0.08	0.15	1.5	0.03	0.80	0.0668	0.0665	3.9701	3.8896
0.08	0.25	1.5	0.03	0.80	0.1217	0.1189	25.3104	22.8100
0.08	0.2	1.0	0.03	0.80	0.0820	0.0813	7.8415	7.5081
0.08	0.2	2.0	0.03	0.80	0.0861	0.0853	10.0201	9.5560
0.08	0.2	1.5	0.02	0.80	0.0872	0.0864	10.6517	10.1697
0.08	0.2	1.5	0.04	0.80	0.0813	0.0806	7.5102	7.1870
0.08	0.2	1.5	0.03	0.75	0.0819	0.0812	7.8083	7.4802
0.08	0.2	1.5	0.03	0.85	0.0868	0.086	10.4408	9.9602

Ek 3: Farklı Yaş Grubu Popülasyonlarının MSM ve MEM Çözümlerinde Zamana Bağlı Değişimleri

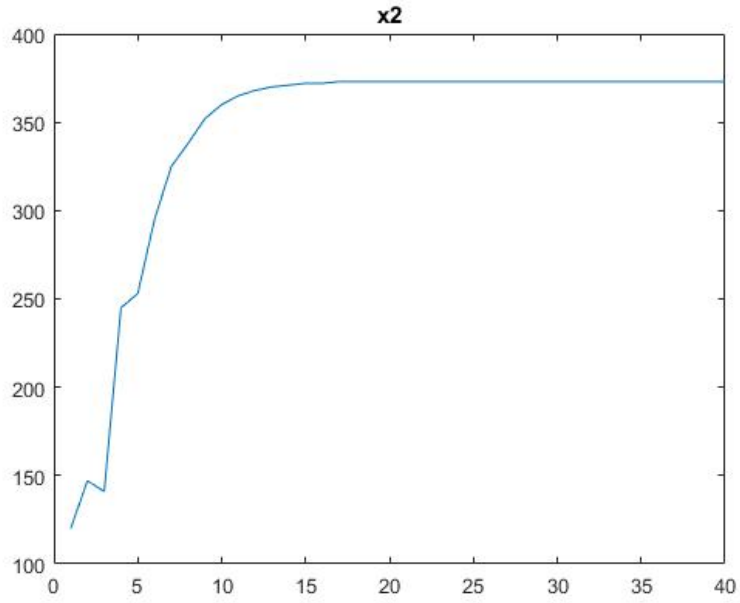
MSM Problemi



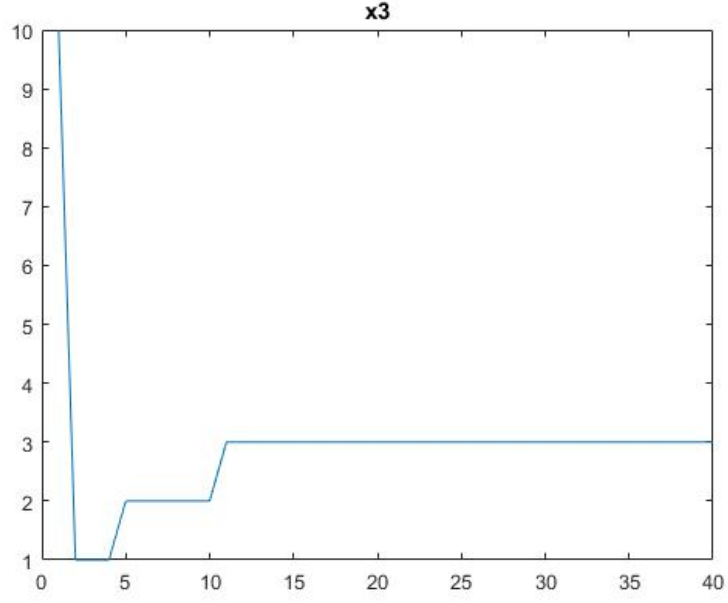
Şekil 11: MSM Problemi, Yavru Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 12: MSM Problemi, Orta Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

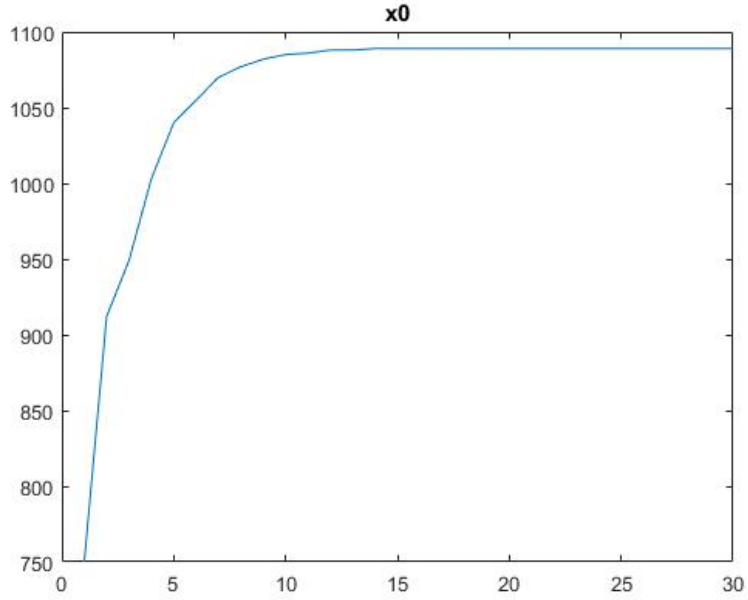


Şekil 13: MSM Problemi, İleri Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

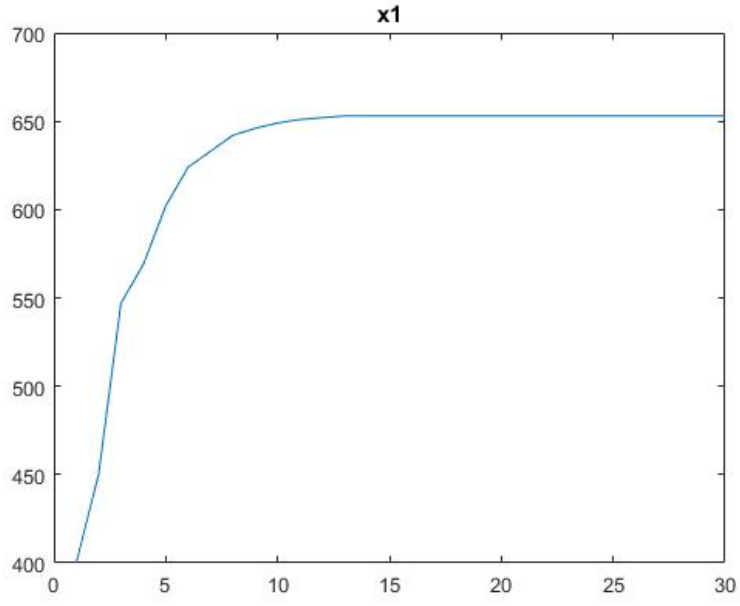


Şekil 14: MSM Problemi, Yaşlı Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

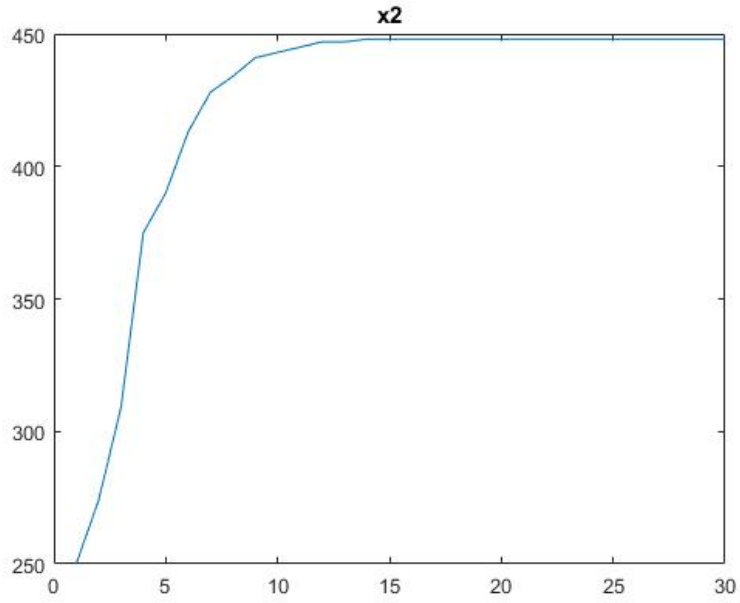
MEM Problemi - Tam Ağ Seçiciliği



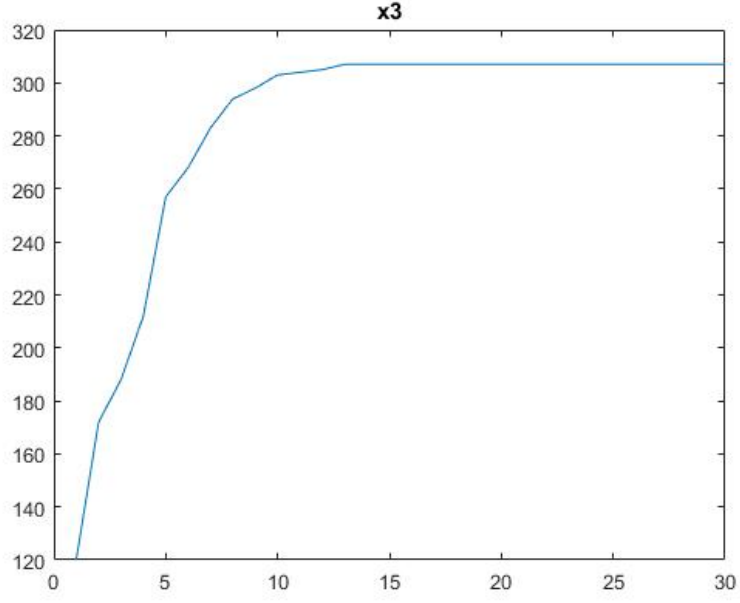
Şekil 15: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği, Yavru Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 16: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği, Orta Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

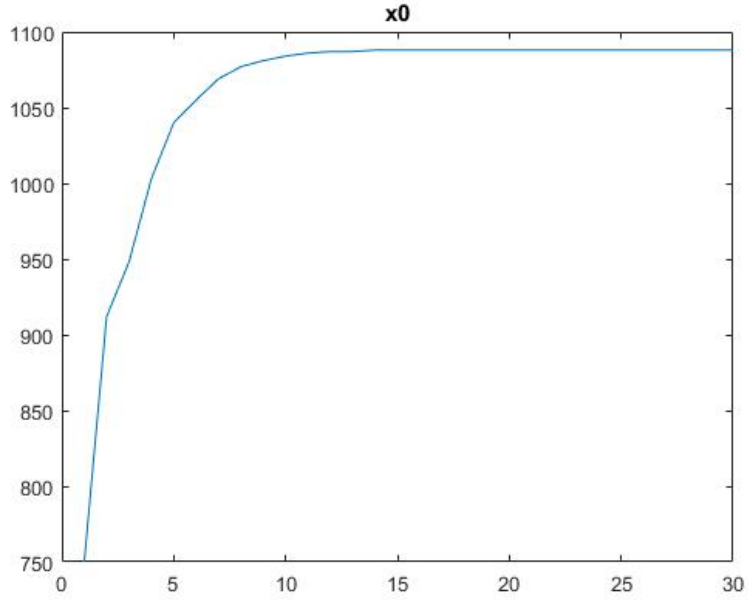


Şekil 17: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği, İleri Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

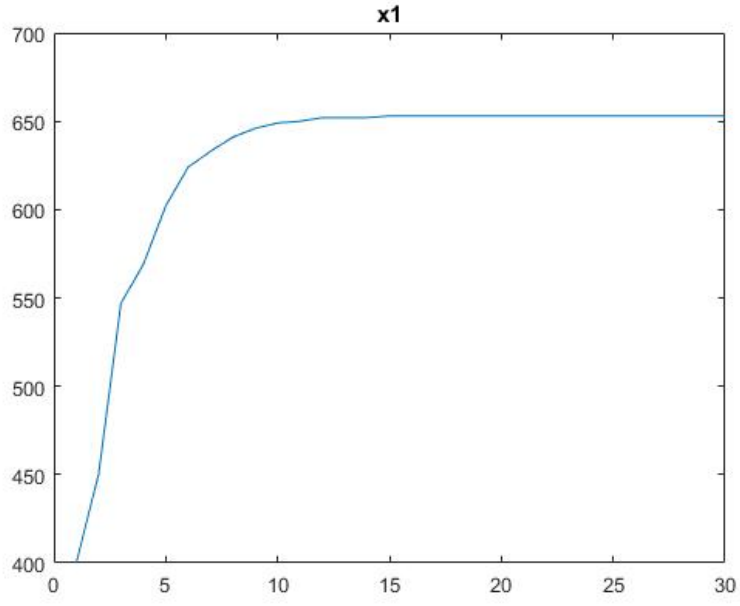


Şekil 18: MEM Problemi, Tam Ağ Seçiciliği, Yaşlı Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

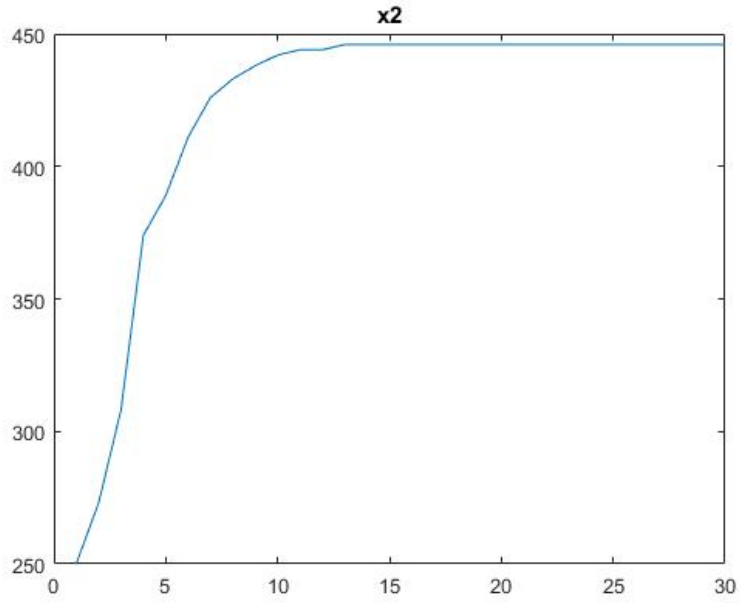
MEM Problemi - Kusurlu Ağ Seçiciliği



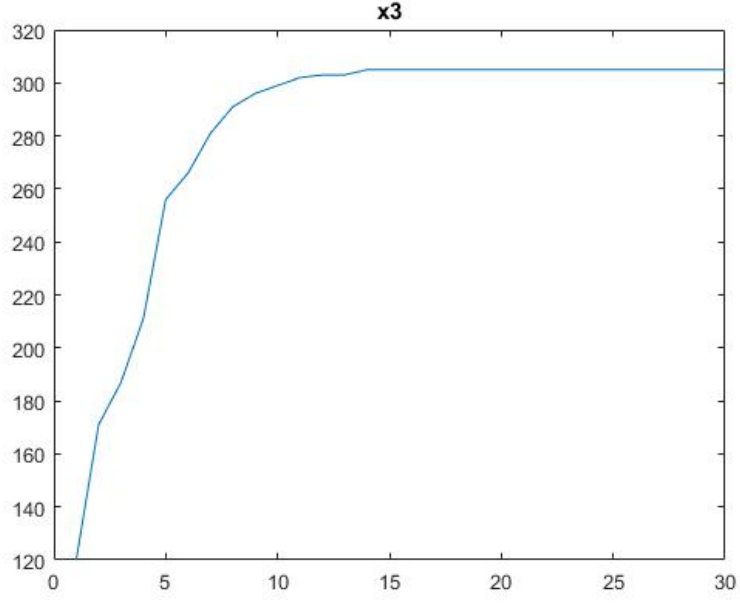
Şekil 19: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Yavru Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 20: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Orta Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

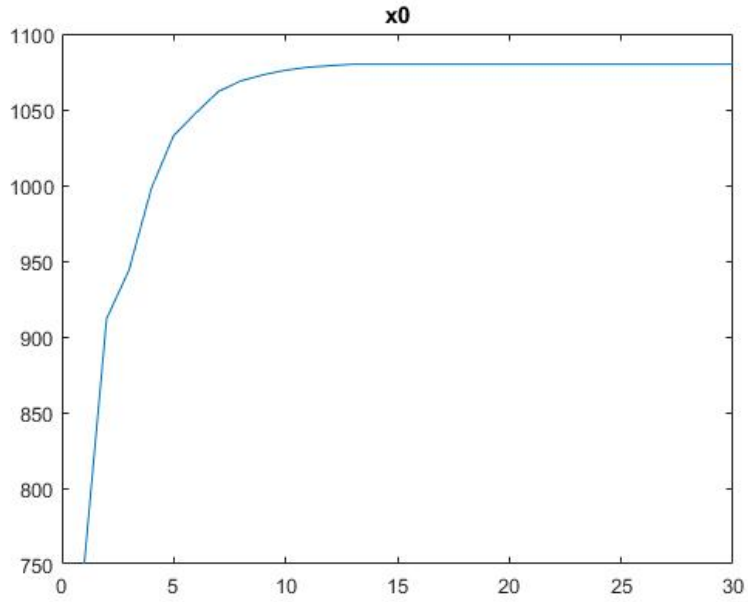


Şekil 21: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği, İleri Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

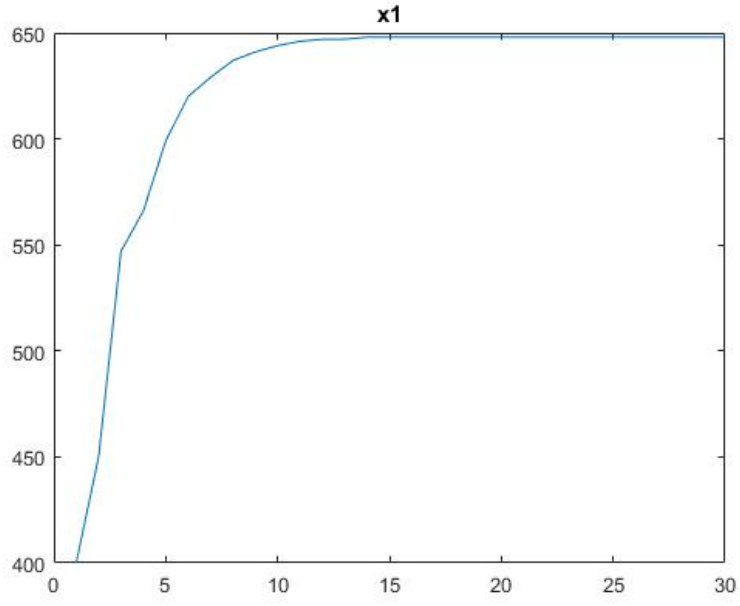


Şekil 22: MEM Problemi, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Yaşlı Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

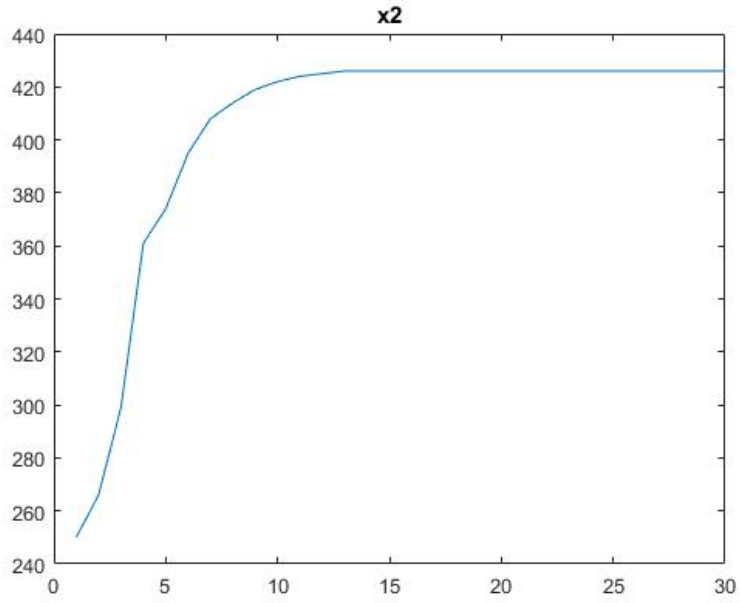
MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Tam Ağ Seçiciliği



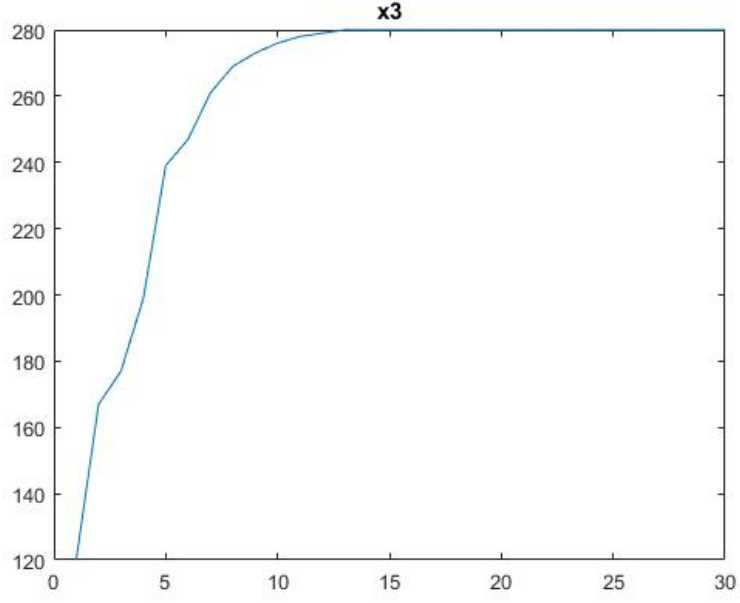
Şekil 23: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Tam Ağ Seçiciliği, Yavru Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 24: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Tam Ağ Seçiciliği, Orta Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

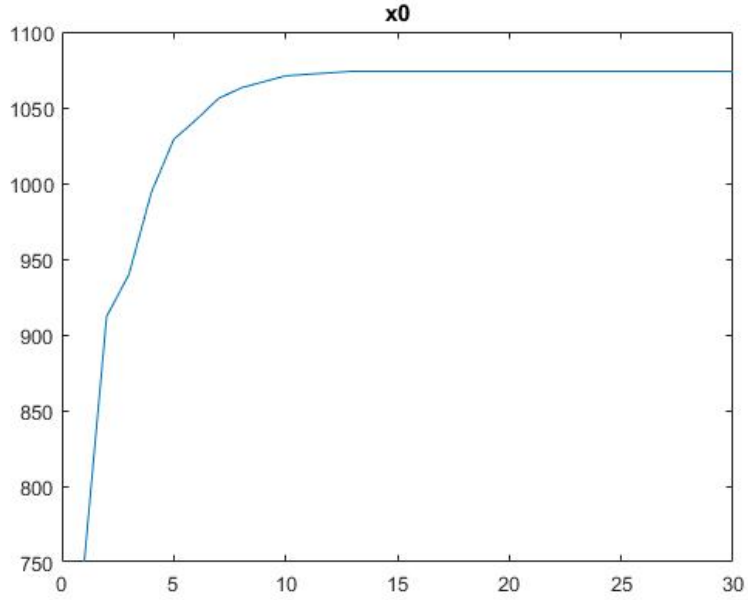


Şekil 25: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Tam Ağ Seçiciliği, İleri Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

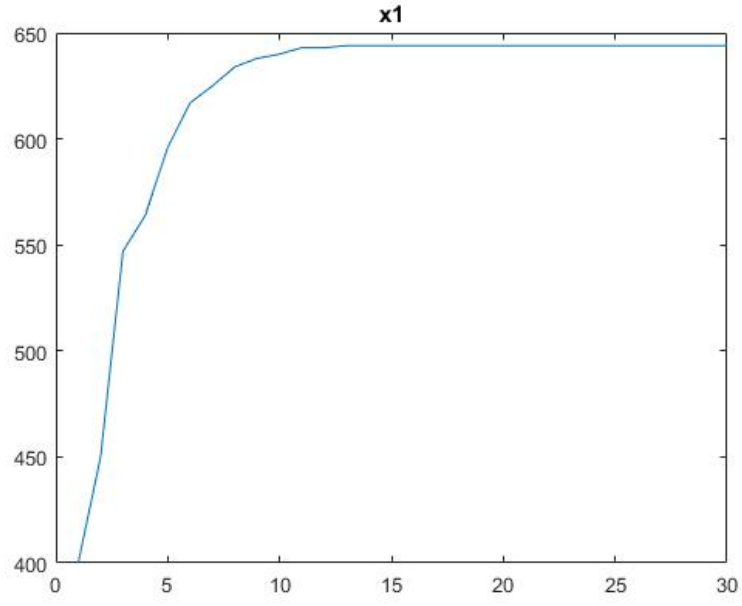


Şekil 26: MEM Problem, İçsel Fiyatlar, Tam Ağ Seçiciliği, Yaşlı Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi

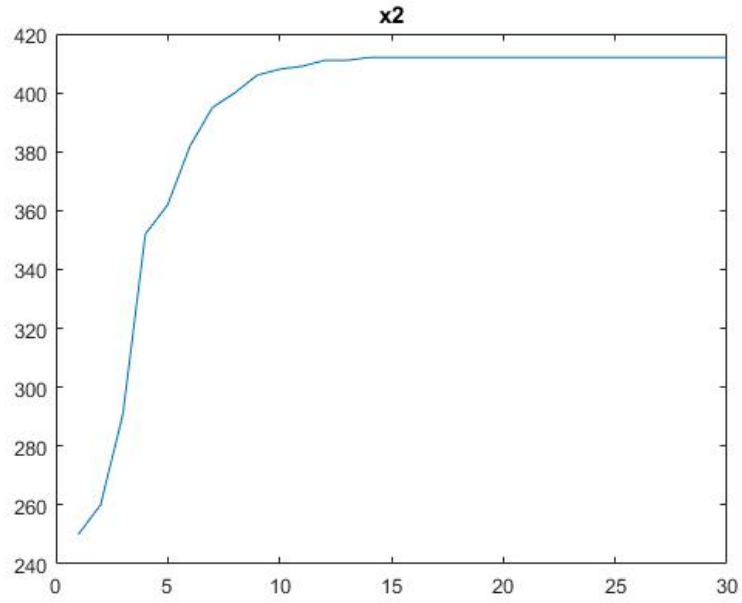
MEM Problem, İçsel Fiyatlar, Kusurlu Ağ Seçiciliği



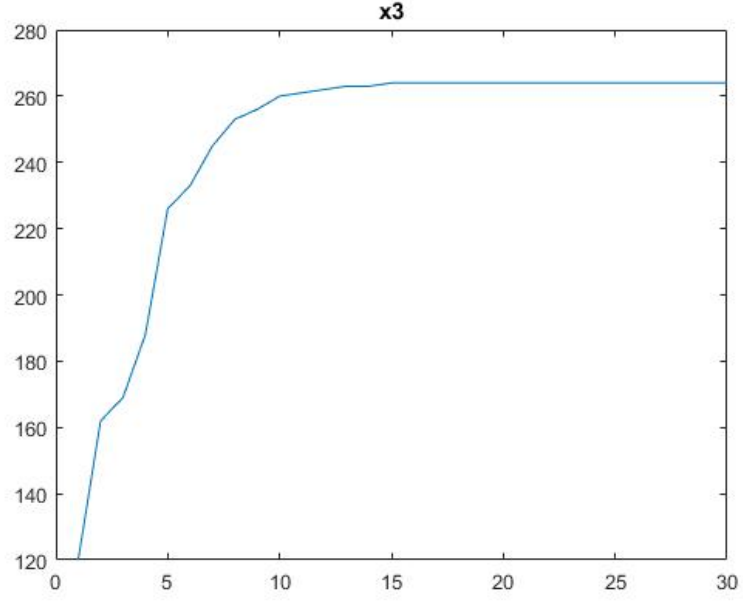
Şekil 27: MEM Problem, İçsel Fiyatlar, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Yavru Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 28: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Orta Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 29: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Kusurlu Ağ Seçiciliği, İleri Yaş Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi



Şekil 30: MEM Problemi, İçsel Fiyatlar, Kusurlu Ağ Seçiciliği, Yaşlı Popülasyonunun Önerilen Hasat Stratejisi Altında Zamana Göre Değişimi