itüdergisi/***d***
mühendislik
Cilt:8, Sayı:4, 119-126
Ağustos 2009

Belirsizlik durumunda iç verim oranı karar kuralları

Esra BAŞ*, Cengiz KAHRAMAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34367, Maçka, İstanbul

Özet

İç verim oranı; Şimdiki Değer (ŞD), Kar/Maliyet oranı, Geri Dönüşüm süresi gibi yatırımları değerlendirmede kullanılan yöntemlerden biridir. İç verim oranı yöntemi, elde edilen değerin Minimum Çekici Verim Oranı (MÇVO) değeri ile karşılaştırılmasını içerir. İç verim oranının hesaplanmasında literatürde, projenin türüne göre birden fazla iç verim oranı değerinin elde edilmesi ve bu değerlerin karşılaştırma için kullanılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ancak iç verim oranı hesaplanmasında dikkate alınması gereken bir diğer konu da belirsizlik durumunun dikkate alınması gerektiği, aksi takdirde beklenen net nakit akışı değerleri ile yapılan hesaplamaların yanlış kararlara neden olabileceği gerçeğidir. Bu düşünceden yola çıkarak çeşitli yatırım değerlendirme yöntemleri için aralarında bulanık kümeler yaklaşımının da kullanıldığı formülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ancak bulanık kümeler yaklaşımı dikkate alındığında iç verim oranının hesaplanmasında diğer yatırım değerlendirme yöntemlerine nazaran belirli bir formülasyon gerçekleştirilememiştir. Bu çalışmada bulanık sıralama yöntemlerinden olan t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları kullanılarak Şimdiki Değer eşitlikleri oluşturulmakta, herbir bulanık bağıntı için çeşitli α-kesme düzeylerine karşılık gelen iç verim oranı değerleri hesaplanarak iç verim oranı ile ilgili karar kuralları oluşturulmaktadır. Bir basit proje örneği üzerinde, önerilen karar kuralları uygulanmakta ve bu örnekle ilgili yorumlar yapılmaktadır. Ayrıca, iç verim oranı için belirlenen karar kurallarına alternatif bir yöntem olarak, t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları kullanılarak elde edilen üçgen bulanık sayıların durulaştırılması da önerilmekte ve bu yöntemle elde edilen sonuçların karar kuralları kullanılarak elde edilen yöntemlerle karşılaştırması yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *İç verim oranı, t-norm/t-conorm bulanık bağıntı, karar kuralları.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Esra BAŞ. atace@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Fuzzy and robust optimization approaches to capital rationing and capital budgeting with several uncertainties" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 18.11.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.11.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Internal rate of return decision rules in case of uncertainty

Extended Abstract

Internal rate of return (IRR) method is one of the investment appraisal techniques to evaluate the acceptability of a single project which is characterized by the comparison of IRR with Minimum Attractive Rate of Return (MARR) of the company. Some other methods are Present Value (PV), Future Value (FV), Equivalent Uniform Annual Value (EUAV), Benefit/Cost Ratio (B/C Ratio), and Payback Period.

To the best of our knowledge, the literature pertaining to IRR mostly revolves around the problem of multiple returns (for example, see Hartman and Schafrick, 2004; Zhang, 2005; Hazen, 2003) and the propositions how to integrate multiple rates of return into one internal rate of return or which one of the multiple rates of return to consider as a unique internal rate of return to be able to compare with the MARR of the company.

On the other hand, to our mind, another crucial problem regarding IRR should be the consideration of uncertainty, i.e., the calculation of IRR by considering the net cash flows as uncertain. Since, the traditional approaches involve merely the expected values of the net cash flows for the calculation of IRR, any variation from the expected values may invalidate the decision of the project. With this concern, fuzzy sets approach is one of the approaches in the literature that considers uncertainty in investment appraisal techniques for single projects, especially for PV, FV, Capitalized Value, EUAV, B/C Ratio, and Payback Period methods (for example, see Chiu and Park, 1994; Kahraman et al.,2000; Kahraman et al., 2002). However, the use of fuzzy sets approach for the IRR method was also discussed and some authors concluded the impossibility of the applicability of the fuzzy approach to the calculation of IRR (for example, see Kahraman et al., 2002 for the review), since 0 is not a fuzzy number, and the left-hand side and 0 cannot be compared.

In this paper, we assume net cash flows as fuzzy numbers, specifically as triangular fuzzy numbers, and propose to reformulate two PV equations by considering t-norm and t-conorm fuzzy relations to compare the left-hand side and the right-hand side of each PV equation. We also consider MARR value as a fuzzy number, specifically a triangular fuzzy number, to be able to compare the IRR values obtained from t-norm and t-conorm fuzzy relations with the respective MARR values for each α-cut level. Afterwards, we propose the decision rules for IRR. In the decision rules, we note that the predetermined thresholds for α-cut levels determine the final decision of the decision maker. We also note that we expect to obtain the best values and worst values of IRR for a given α-cut level, and that the decision maker may have the opportunity to see the possible range of the IRR values between these best values and worst-values.

A taxonomy of fuzzy ranking methods and the details of the methods have been provided in Chen and Hwang (2002). t-norm and t-conorm fuzzy relations are the extensions of possibility and necessity measures (Ramik, 2006), while possibility and necessity measures are classified under the group "Comparison function" in the taxonomy of Chen and Hwang (2002). t-norm and t-conorm fuzzy relations and their properties are examined in detail in most reference books (for example, see Klir and Yuan, 1995; Buckley et al., 2002). Inuiguchi et al. (2003) also studies t-norm and t-conorm fuzzy relations in detail and applies t-norm and t-conorm fuzzy relations to a general Fuzzy Linear Programming (FLP) model to compare the left-hand side with the right-hand side of the inequality constraints, and also to compare the objective function with the aspiration level as a definition of the maximization of the objective function. The following paper follows the approach of Inuiguchi et al. (2003), but applies the approach to the PV equations to compare the left-hand side and right-hand side, so that t-norm and t-conorm based IRR values are obtained for each α-cut level. We illustrate the proposed decision rules with a three-period simple project example, and interpret the results. As an alternative to the proposed decision rules, we also propose to defuzzify the triangular fuzzy numbers representing IRR and MARR by Center of Gravity method, so that we can compare the singleton IRR and MARR results. We also compare the results obtained from the decision rules and from the defuzzification of the triangular fuzzy numbers. Finally, in the conclusions, we summarize the results and give the potentials for future research to apply the proposed decision rules to other types of projects.

Keywords: *Internal rate of return, t-norm/t-conorm fuzzy relations, decision rules.*

Giriş

İç verim oranı; Şimdiki Değer (ŞD), Gelecek Değer (GD), Yıllık Eşdeğer Nakit Akışı, Kar/Maliyet oranı, Geri Dönüş Süresi gibi tek bir projeyi değerlendirmede kullanılan yöntemlerden biridir. İç verim oranı ile ilgili karar kuralı genel olarak, elde edilen iç verim oranı değerinin MÇVO ile karşılaştırılmasını içerir.

İç verim oranı yöntemi için literatür ağırlıklı olarak, birden fazla iç verim oranı elde edilmesi problemine odaklanmaktadır (örneğin, Hartman ve Schafrick, 2004; Zhang, 2005; Hazen, 2003) Belirli bir proje için birden fazla iç verim oranının bulunması, kararın güvenilirliğini etkilemektedir.

Öte yandan, iç verim oranı yöntemi ile ilgili bir diğer problem de net nakit akışlarının beklenen değerlerini kabul ederek yapılan hesaplamalardır. Oysa, net nakit akışlarında beklenen değerlerden sapmalar da verilen kararın güvenilirliğini etkilemektedir. Bulanık kümeler yaklaşımı yatırım değerlendirme yöntemlerinde belirsizliği dikkate almak için kullanılan yöntemlerden biridir. İç verim oranının hesaplanmasında belirsizliğin dikkate alınması ile ilgili olarak literatür incelemesi yapıldığında, diğer yatırım değerlendirme yöntemlerine nazaran iç verim oranı hesaplaması için belirli bir formülasyonun gerçekleştirilemediği görülmektedir. Kahraman ve diğerleri (2000) ve Kahraman ve diğerleri (2002)'de yapılan, net nakit akışlarının bulanık sayılar olarak kabul edildiği çalışmalar da dahil olmak üzere literatürdeki çalışmalar ağırlıklı olarak ŞD, GD, Yıllık Eşdeğer Nakit Akışı, Kar/Maliyet Oranı ve Geri Dönüş Süresi gibi yöntemlerin, net nakit akışlarının bulanık sayılar olarak tasarlandığı formülasyonları üzerine odaklanmaktadır. Kahraman ve diğerleri (2002)'de iç verim oranının hesaplanmasında bulanık sayıların dikkate alınması durumundaki çalışmaların yetersizliğine ve bu konudaki literatür görüşlerine yer verilmiştir. Literatür görüşlerinden biri, 0 ın bulanık sayı olmaması ve bu durumda bulanık sayılar dikkate alınarak karşılaştırmanın mümkün olamayacağıdır.

Bu çalışmada, net nakit akışları bulanık üçgen sayılar olarak kabul edilecek, iç verim oranı hesaplanmasında bulanık sıralama yöntemleri olan t-norm ve t-conorm bağıntılarının kullanılması ile ŞD denkleminin formülasyonu ve ilgili karar kurallarının oluşturulması önerilecektir. t-norm ve t-conorm bulanık bağıntı yöntemleri ile elde edilen iç verim oranı değerlerinin belirli bir $\alpha-$kesme değeri için olabilecek en iyi ve en kötü sonuçları vermesi beklenmektedir. Böylece yatırımcı, iç verim oranı değerlerinin belirli bir $\alpha-$kesme değeri için hangi aralıklarda değişeceğini görebilecektir.

Bulanık sralama yöntemleri Chen ve Hwang (1992)'de sınıflandırılmış ve ayrıntılı olarak incelenmiştir. Chen ve Hwang (1992) sınıflandırmasına göre, "Olabilirlik" ve "Gereklilik" ölçümleri "Karşılaştırma fonksiyonu" alt grubunda yer almaktadır. Ramik (2006)'da da belirtildiği gibi, t-norm ve t-conorm bağıntıları "Olabilirlik" ve "Gereklilik" ölçümlerinin uzantısı olarak tanımlanmışlardır. Inuiguchi ve diğerleri (2003)'de de t-norm ve t-conorm bağıntıları ve özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu bağıntılar bulanık doğrusal programlama modelindeki kısıtların sol ve sağ tarafının karşılaştırılmasında ve amaç fonksiyonunun belirlenmiş bir hedef düzeyi ile karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Bu makale de Inugichi ve diğerleri (2003)'deki yaklaşımı takip ederek, ŞD denklemlerinin t-norm ve t-conorm bulanık bağıntılar kullanılarak oluşturulmasını önermektedir. Bu çalışmada, karşılaştırmanın gerçekleştirilebilmesi için MÇVO değerleri de üçgen bulanık sayılar olarak düşünülecek ve t-norm ve t-conorm bağıntıları kullanılarak tanımlanacaktır. Önerilen karar kurallarının bir basit proje örneği üzerinde uygulaması gerçekleştirilecek ve sonuçlar yorumlanacaktır. Önerilen karar kurallarına alternatif olarak, t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları kullanılarak elde edilen, iç verim oranını ve MÇVO'yu ifade eden üçgen bulanık sayıların durulaştırılması ve elde edilen değerlerin karşılaştırılması da önerilmektedir. Sonuçlar bölümünde ise gelecek çalışma için önerilerde bulunulacaktır.

t-norm ve t-conorm bağıntıları ve temel özellikleri

Bulanık kümelerle ilgili genel bilgiler ve t-norm ve t-conorm bağıntıları ve özellikleri ilgili bilgiler çeşitli referans kitaplarda bulunabilir (örneğin Ross, 1995; Klir ve Yuan, 1995; Buckley vd., 2002). Bu çalışmada, ŞD formülasyonları Inuiguchi ve diğerleri (2003)'deki t-norm ve t-conorm bağıntı özellikleri dikkate alınarak yapılacaktır. Inuiguchi (2003)'de t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları, bir bulanık doğrusal programlama modelindeki eşitsizlik kısıtlarının sağ ve sol tarafının ve amaç fonksiyonunun hedef değerle karşılaştırılması için kullanılmaktadır. Ancak, bu çalışmada eşitlikler sözkonusu olmasına rağmen, karşılaştırma için eşitliğin sol tarafı bir eşitsizliğin sol tarafı ve eşitliğin sağ tarafı bir eşitsizliğin sağ tarafı olarak düşünülmüştür.

Bulanık net akışları ile şimdiki değer denklemi ve bulanık minimum çekici verim oranı

$$ŞD = \sum_{n=0}^{N} \widetilde{F}_n x^n = 0 \tag{1}$$

iç verim oranı hesaplama probleminde, $\widetilde{F}_n$ net nakit akışının $\forall \in \{0, 1, ..., N\}$ için bulanık sayılar olduğu varsayılmaktadır. Bu denklemde $ŞD$ şimdiki değeri, $x = \dfrac{1}{1+r}$ olup r iç verim oranını ifade etmektedir (Park ve Sharp-Bette, 1990). Bu durumda, şimdiki değer denklemi, Inuiguchi ve diğerleri (2003)'de verilen t-norm bulanık bağıntı ve t-conorm bulanık bağıntı ifadeleri dikkate alındığında aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$ŞD_T(\alpha) = \sum_{n=0}^{N} \inf\left[\widetilde{F}\right]_\alpha x_T^n(\alpha) = 0 \tag{2}$$
$\forall \alpha \in (0,1)$

$$ŞD_S(\alpha) = \sum_{n=0}^{N} \sup(\widetilde{F})_{1\text{-}\alpha}\, x_S^n(\alpha) = 0 \tag{3}$$
$\forall \alpha \in (0,1)$

(2) ve (3) denkleminde $\left[\widetilde{F}\right]_\alpha$ ve $(\widetilde{F})_{1\text{-}\alpha}$ sırasıyla $\widetilde{F}$ bulanık sayısının α-kesme ve kesin (1-α)-kesme durumlarını göstermektedir. Ayrıca $x_T(\alpha) = \dfrac{1}{1+r_T^*(\alpha)}$, $x_S(\alpha) = \dfrac{1}{1+r_S^*(\alpha)}$ olarak tanımlanmış olup, $r_T^*(\alpha)$ ve $r_S^*(\alpha)$ sırasıyla belirli bir α-kesme düzeyinde t-norm ve t-conorm bağıntısına karşılık gelen iç verim oranı değerlerini göstermektedir.

$\widetilde{F}_n$ net nakit akışının $\forall \in \{0, 1, ..., N\}$ için $\widetilde{F}_n = (F_n - \hat{F}_n, F_n, F_n + \hat{F}_n)$ şeklinde simetrik üçgen bulanık sayı olduğu kabul edilirse, (2) ve (3) denklemleri aşağıdaki ifadelere dönüşecektir:

$$ŞD_T(\alpha) = \sum_{n=0}^{N} (F_n + (\alpha - 1)\hat{F}_n)\, x_T^n(\alpha) = 0 \tag{4}$$
$\forall \alpha \in (0,1)$

$$ŞD_S(\alpha) = \sum_{n=0}^{N} (F_n + \alpha \hat{F}_n)\, x_S^n(\alpha) = 0 \tag{5}$$
$\forall \alpha \in (0,1)$

Benzer şekilde, minimum çekici verim oranı t-norm bulanık bağıntı ve t-conorm bulanık bağıntı dikkate alındığında aşağıdaki şekilde ifade edilecektir:

$$MÇVO_T(\alpha) = \inf\left[\widetilde{MÇVO}\right]_\alpha \tag{6}$$

$$MÇVO_S(\alpha) = \sup(\widetilde{MÇVO})_{1-\alpha} \tag{7}$$

$\widetilde{MÇVO}$ nın da net nakit akışlarında olduğu gibi $\widetilde{MÇVO} = (MÇVO - \widehat{MÇVO}, MÇVO, MÇVO + \widehat{MÇVO})$ şeklinde simetrik üçgen bulanık sayı olduğu kabul edilirse, (6) ve (7) aşağıdaki ifadelere dönüşecektir:

$$MÇVO_T(\alpha) = MÇVO + (\alpha - 1)\widehat{MÇVO} \tag{8}$$

$$MÇVO_S(\alpha) = MÇVO + \alpha\, \widehat{MÇVO} \tag{9}$$

İç verim oranı için karar kuralları

İç verim oranı ile ilgili karar kuralı, belirsizliğin dikkate alınmadığı durumda tek bir iç verim oranı elde edildiyse ve bu iç verim oranı MÇVO'dan büyükse projeyi kabul etme, MÇVO'dan küçükse projeyi reddetme ve iç verim oranı ve MÇVO'nun eşit olması durumunda ise projeye karşı çekimser kalma şeklindedir (Park ve Sharp-Bette, 1990).

Bu çalışmadaki iç verim oranı ile ilgili olarak önerilen karar kuralları ise Tablo 1'de görülmektedir. Bu karar kurallarına göre iki bulanık bağıntı dikkate alınarak ŞD formülasyonları gerçekleştirildiği için, iki karşılaştırma yapılmaktadır.

Tablo 1. İç verim oranı için karar kuralları

eğer $r_T^*(\alpha) > MÇVO_T(\alpha) \quad \forall\alpha \in (0,1)$ ve **eğer** $r_S^*(\alpha) > MÇVO_S(\alpha) \quad \forall\alpha \in (0,1)$,

ya da $\overline{\alpha}_T$ t-norm bulanık bağıntı dikkate alınarak hesaplanan iç verim oranı için, önceden belirlenmiş $\alpha -$kesme düzeyi olmak üzere **eğer** $r_T^*(\alpha) > MÇVO_T(\alpha) \quad \forall\alpha \ge \overline{\alpha}_T$ ve **eğer** $r_S^*(\alpha) > MÇVO_S(\alpha) \quad \forall\alpha \in (0,1)$,

ya da $\overline{\alpha}_S$ t-conorm bulanık bağıntı dikkate alınarak hesaplanan iç verim oranı için, önceden belirlenmiş $\alpha -$kesme düzeyi olmak üzere **eğer** $r_T^*(\alpha) > MÇVO_T(\alpha) \quad \forall\alpha \in (0,1)$, ve **eğer** $r_S^*(\alpha) > MÇVO_S(\alpha) \quad \forall\alpha \ge \overline{\alpha}_S$ ise,

projeyi kabul et.

eğer $r_T^*(\alpha) < MÇVO_T(\alpha) \; \forall\alpha \in (0,1)$ ve **eğer** $r_S^*(\alpha) < MÇVO_S(\alpha) \quad \forall\alpha \in (0,1)$ ise,

projeyi reddet.

diğer durumlarda, **çekimser kal**.

Tablo 1'e göre, t-norm bulanık bağıntısı dikkate alınarak bulunan iç verim oranı değerleri, t-norm bulanık bağıntısı dikkate alınarak bulunan minimum çekici verim oranı değerleri ile; t-conorm bulanık bağıntısı dikkate alınarak bulunan iç verim oranı değerleri ise, t-conorm bulanık bağıntısı dikkate alınarak bulunan minimum çekici verim oranı değerleri ile karşılaştırılmaktadır. $\overline{\alpha}_T$, t-norm bulanık bağıntı dikkate alınarak hesaplanan iç verim oranı için, önceden belirlenmiş $\alpha -$kesme düzeyi ve $\overline{\alpha}_S$, t-conorm bulanık bağıntı dikkate alınarak hesaplanan iç verim oranı için, önceden belirlenmiş $\alpha -$kesme düzeyi olarak tanımlanmış olup, karar vericinin önceden belirlediği ve sonucu etkileyen değerlerdir. Bu değerlerin çok yüksek olması durumunda, karar verici projeye karşı çekimser kalma kararını verebilir. Projenin reddedilmesi durumu ise, herbir $\alpha -$kesme düzeyi için elde edilen iç verim oranı değerinin ilgili $\alpha -$kesme düzeyine karşılık gelen MÇVO değerinden küçük olması durumunda gerçekleşecektir. Diğer bütün durumlarda projeye karşı çekimser kalma durumu gerçekleşecektir.

Nümerik analiz

Nümerik analiz için, net nakit akışlarını ve minimum çekici verim oranını ifade eden üçgen bulanık sayı değerleri Tablo 2'de verilen, üç dönemli basit proje örneği kullanılacaktır.

Tablo 2. Net nakit akışı ve minimum çekici verim oranı için simetrik, üçgen bulanık sayılar (Nominal değerler Park ve Sharp-Bette,1990)

Üç dönemli basit proje, MÇVO ve net nakit akışları	
MÇVO	(14.4%, 15%, 15.6%)
Year 0	(-110, -100, -90)
Year 1	(45, 50, 55)
Year 2	(75.6, 84, 92.4)

Tablo 2'de verilen net nakit akışları simetrik üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği için (4) ve (5) denklemleri kullanılarak şimdiki değer denklemleri elde edilebilir. Böylece, (4) denklemine ve Tablo 2'deki değerlere göre $ŞD_T(\alpha)$ denklemi;

$$ŞD_T(\alpha) = -100 + 10(\alpha - 1) + (50 + 5(\alpha - 1))\, x_T(\alpha) + (84 + 8.4(\alpha - 1))\, x_T^2(\alpha) = 0$$

şeklinde olacaktır. Ayrıca, $r_T^*(\alpha)$ değerleri, α-kesme değerinin 0.1 aralıklarla arttırıldığı durumda Tablo 3'te görülen değerleri alacaktır.

Tablo 3. t-norm bulanık bağıntısına göre iç verim oranı değerleri

α	$r_T^*(\alpha)$
0.1	0.0718
0.2	0.0853
0.3	0.0989
0.4	0.1128
0.5	0.1268
0.6	0.1411
0.7	0.1555
0.8	0.1701
0.9	0.1849

(5) denklemine ve Tablo 2'deki değerlere göre ise $ŞD_S(\alpha)$ denklemi;

$$ŞD_S(\alpha) = -100 + 10\alpha + (50 + 5\alpha)\, x_S(\alpha) + (84 + 8.4\alpha)\, x_S^2(\alpha) = 0$$

şeklinde olacaktır. Ayrıca, $r_S^*(\alpha)$ değerleri, α-kesme değerinin 0.1 aralıklarla arttırıldığı durumda Tablo 4'te görülen değerleri alacaktır:

Tablo 4. t-conorm bulanık bağıntısına göre iç verim oranı değerleri

α	$r_S^*(\alpha)$
0.1	0.2153
0.2	0.2308
0.3	0.2465
0.4	0.2625
0.5	0.2787
0.6	0.2952
0.7	0.3119
0.8	0.3289
0.9	0.3463

Tablo 2'de verilen MÇVO değeri simetrik üçgen bulanık sayıyla ifade edildiği için, (8) ve (9) denklemleri kullanılarak MÇVO denklemleri elde edilebilir. Böylece (8) ve (9) denklemleri ve Tablo 2 dikkate alındığında $MÇVO_T(\alpha)$ ve $MÇVO_S(\alpha)$;

$$MÇVO_T(\alpha) = 0.15 + 0.006\,(\alpha - 1)$$

$$MÇVO_S(\alpha) = 0.15 + 0.006\,\alpha$$

şeklinde ifade edilecektir. Ayrıca, $MÇVO_T(\alpha)$ ve $MÇVO_S(\alpha)$ değerleri, α-kesme değerinin 0.1 aralıklarla arttırıldığı durumda Tablo 5'de görülen değerleri alacaktır:

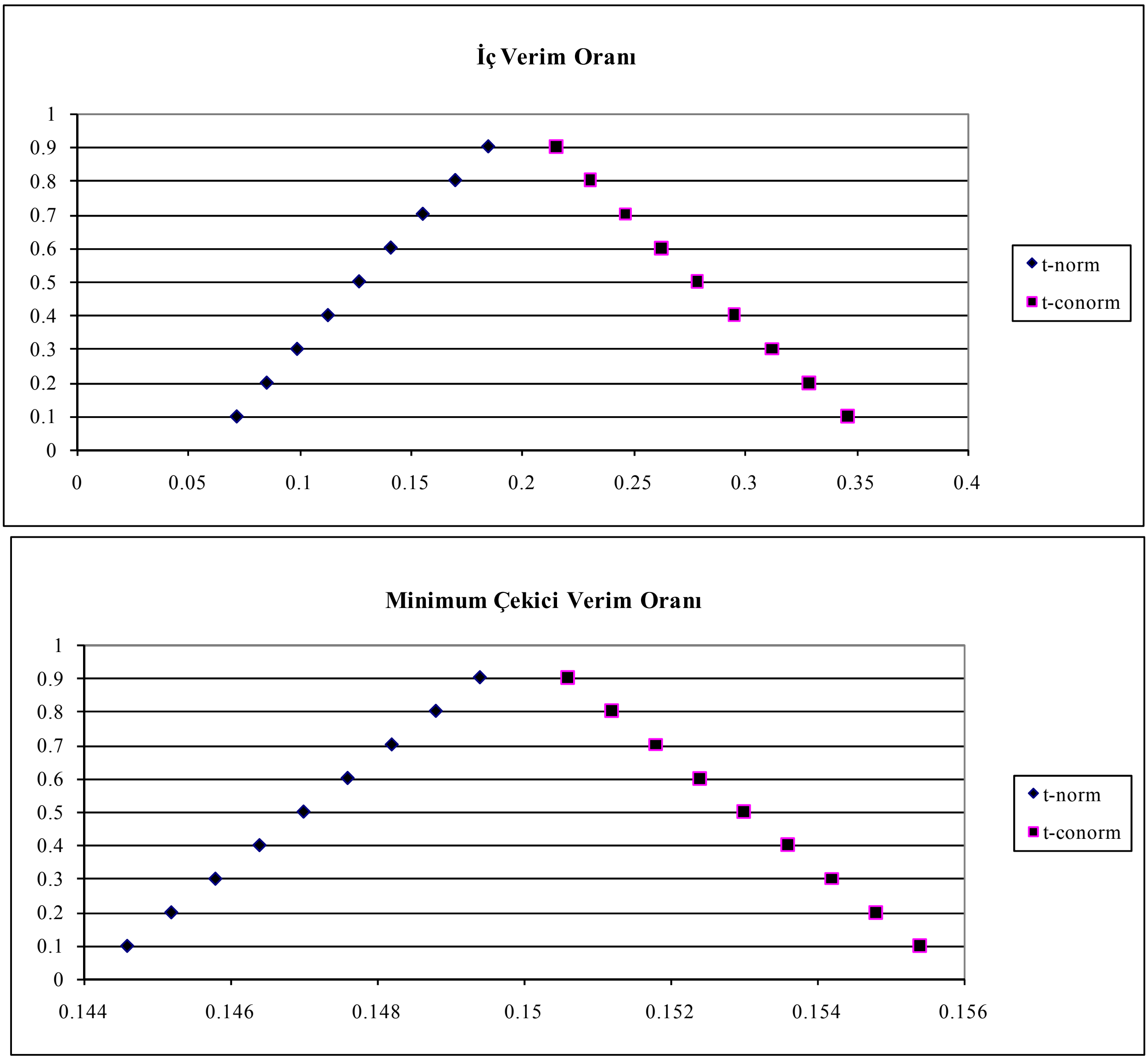
Tablo 5. t-norm and t-conorm bulanık bağıntısına göre minimum çekici verim oranı değerleri

α	$MÇVO_T(\alpha)$	$MÇVO_S(\alpha)$
0.1	0.1446	0.1506
0.2	0.1452	0.1512
0.3	0.1458	0.1518
0.4	0.1464	0.1524
0.5	0.147	0.153
0.6	0.1476	0.1536
0.7	0.1482	0.1542
0.8	0.1488	0.1548
0.9	0.1494	0.1554

Nümerik analiz sonuçlarının yorumu

Tablo 1'de önerilen karar kuralları uygulandığında, proje t-conorm bulanık bağıntılar dikkate alındığında kesinlikle kabul edilecek, t-norm bulanık bağıntılar dikkate alındığında ise yaklaşık $\alpha \geq 0.65$ değerinden sonra kabul edilecektir. Belirsizliğin dikkate alınmadığı durumda ise, proje $r^* = 20\% > 15\% = MÇVO$ olacağı için kabul edilecektir. Daha önce de belirtildiği gibi, proje ile ilgili verilen karar, yatırımcının daha önceden belirleyeceği sınır α-kesme düzeyi ile belirlenecektir. Bu durumda, yatırımcının t-norm bağıntısı için 0.65 değerinden düşük bir α-kesme düzeyi belirlemesi durumunda proje kabul edilebilir.

Tablo 1'de verilen karar kurallarına alternatif olarak, t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları kullanılarak elde edilen değerler, Şekil 1'de görüldüğü gibi iç verim oranı ve minimum çekici verim oranı için bulanık üçgen sayılar olarak düşünüldüğünde ve bu bulanık sayılar ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak durulaştırıldığında da, proje kabul edilecektir.



Şekil 1. t-norm and t-conorm bulanık bağıntıları ile elde üçgen bulanık sayılar

Sonuçlar

Bu çalışmada ŞD denklemi t-norm ve t-conorm bulanık bağıntıları kullanılarak oluşturulmuş, böylece her bir bağıntı ve $\alpha-$kesme düzeyi için iç verim oranı değerleri bulunmuştur. MÇVO değerinin de t-norm ve t-conorm bulanık bağıntılara ver her bir $\alpha-$kesme düzeyine karşılık gelen değerleri bulunmuştur. Ardından, ilgili karar kuralları oluşturulmuş ve karar kurallarının bir basit proje örneği üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayla ilgili olarak aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılabilir ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunabilir:

- Yatırım kararını, karar kurallarında tanımlanmış olan karar vericinin önceden belirlemesi gereken α-kesme düzeyi etkileyecektir. Bu durumda aynı üçgen bulanık sayılar durumunda bile iki farklı karar vericinin kararı farklı olabilecektir.

- Elde edilen sonuçların ŞD yöntemine göre elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması ve sonuçların uyumunun kontrol edilmesi gereklidir. Bu amaçla Chiu ve Park (1994)'de önerilen, net nakit akışlarının ve iskonto oranının bulanık üçgenler olarak kabul edildiği ŞD denklemi kullanılabilir.

- Çalışmanın simetrik üçgen bulanık sayılar dışında genel üçgen bulanık sayılar ya da genel bulanık sayılar için de sınanması gelecek çalışma için önerilebilir.

- Çalışma belirsizliğin olmadığı durumda, tek bir iç verim oranı olan bir basit proje örneği üzerinde denenmiştir. Çok sayıda iç verim oranı değerlerinin sözkonusu olduğu diğer proje çeşitleri için de yeni karar kuralları oluşturulabilir ve çalışma genelleştirilebilir.

Kaynaklar

Buckley, J.J., Eslami, E. ve Feuring, T., (2002). *Fuzzy mathematics in economics and engineering*, 91, Physica-Verlag, A Springer-Verlag Company, Heidelberg New York.

Chen, S.-J. ve Hwang, C.-L., (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications*, Springer, New York.

Chiu, C.-Y. ve Park, C.S., (1994). Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion, *The Engineering Economist*, **39**, 2, 113-138.

Hartman, J.C. ve Schafrick, I.C., (2004). The relevant internal rate of return, *The Engineering Economist*, **49**, 2, 139-158.

Hazen, G.B., (2003). A new perspective on multiple rates of return, *The Engineering Economist*, **48**, 1, 31-51.

Inuiguchi, M., Ramik, J., Tanino, T. ve Vlach, M., (2003). Satisficing solutions and duality in interval and fuzzy linear programming, *Fuzzy Sets and Systems*, **135**, 1, 151-177.

Kahraman, C., Tolga, E. ve Ulukan, Z., (2000). Justification of manufacturing technologies using fuzzy benefit/cost ratio analysis, *International Journal of Production Economics*, **66**, 1, 45-52.

Kahraman, C., Ruan, D. ve Tolga, E., (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows, *Information Sciences*, **142**, 1-4, 57-76.

Klir, G.J. ve Yuan, B., (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*, Prentice Hall, Upper Saddle River New Jersey.

Park, C.S. ve Sharp-Bette, G.P., (1990). *Advanced engineering economics*, John Wiley & Sons, Inc., New York Chicester Brisbane.

Ramik, J., (2006). Duality in fuzzy linear programming with possibility and necessity relations, *Fuzzy Sets and Systems*, **157**, 10, 1283-1302.

Ross, T.J., (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*, International Edition, McGraw-Hill, Inc., New York St. Louis San Francisco.

Zhang, D., (2005). A different perspective on using multiple internal rates of return: The IRR parity technique", *The Engineering Economist*, **50**, 4, 327-335.

Bu çalışma World Scientific'in izniyle, birinci yazarın "Bas, E., Internal rate of return of fuzzy cash flows based on pessimistic and optimistic fuzzy-relation approach, Proceedings of the 8th International FLINS Conference, in: Computational Intelligence in Decision and Control, Ruan, D., Montero, J., Lu, J., Martínez, L., D'hondt, P. and Kerre, E.E. (Eds.), World Scientific, In Press." çalışması temel alarak hazırlanmıştır.