

BAKIMIN GELİŞEN BOYUTU- SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK **

Alp ESİN *

Günümüzdeki ürünlerin temel kalite özelliği olan güvenilebilirliğin en önemli bileşenlerinden biri olan sürdürülebilirlik kavramı, güvenilebilirliğin diğer bileşenleri ve disiplinlerle olan ilintisi ve günümüzdeki bakım çalışmalarındaki önemi açısından ele alınmaktadır.

Anahtar sözcükler : Güvenilebilirlik, güvenilirlik, sürdürülebilirlik, hazır-oluş

One of the foremost components of dependability, the maintainability concept is treated with respect to its relationships with other components of reliability and disciplines, and its significance in maintenance activities.

Keywords : Dependability, reliability, maintainability, availability, RAM

GİRİŞ

Günümüzde, ürün kalitesinin temel özelliği güvenebilirliktir (dependability). Güvenebilirlik, üç ana kavramı içerir; ❶ *güvenilirlik* (reliability), ❷ *sürdürülebilirlik* (maintainability) ve ❸ *hazır-oluş* (availability). İngilizce kaynaklarda, yukarıdaki İngilizce terimlerin baş harflerinden oluşan RAM kısaltması da aynı anlamda kullanılır. Gelişmelerin ışığında, sınanabilirlik (testability) de bu kavramların arasına alınmıştır (RAMT).

Sürdürülebilirlik tanımı da, yeni gereksinimlerin ışığında, evrime uğramıştır. Eski tanım; "bir ürünün bakımının en kısa sürede tamamlanması" anlamında idi. Vurgulanan, bakım kolaylığı idi. Günümüzdeki beklentilerin ışığında ise, "Sürdürülebilirlik, bakımın belirtilmiş koşullar altında, belirlenmiş durumda, tanımlanmış işlemlere ve kaynaklara uygun biçimde yapılması koşulu ile, bir ürünün öngörülen işlevlerini yerine getirebilecek durumda tutulması veya duruma getirilmesidir. (BS 4778)" Yeni tanımda, aşağıda göreceğimiz gibi, güvenilirliğin gereği vurgulanmakta ama süre boyutu kaldırılmış gibi görülmekte ise de, hazır-oluş kavramının giderek yaygınlaşması ve ağırlık kazanması nedeni ile, süre boyutu daha da kuvvetli biçimde ön plana çıkmaktadır.

GÜVENİLİRLİK

Güvenilirlik, bir ürünün ❶ öngörülmesi işlevlerini, ❷ belirlenmiş çalışma koşulları altında, ❸ belirlenmiş ömür boyunca yerine getirebilmesi olasılığıdır. Bir ürünün işlevlerini yerine getirme düzeyi, *performans* olarak anılır. Bir ürünün işlevlerinden herhangi birisini öngörülmesi olan performans düzeyinde yerine getirememesi durumu, yetmezlik olarak adlandırılır. Her yetmezliğin, kopma, kırılma, yanma, vb. uç sonuçlarının olması gerekmez. Çalışan bir motorun çekişinin azalması ve/veya yakıt tüketiminin artması da bir tür yetmezliktir. Yetmezlik performans kaybı olduğuna göre, performans gerekleri

* Prof.Dr., ODTÜ

** İngilizce'deki "Maintenance" terimi "bakım" olarak, yanlış biçimde dilimize girmiş olduğundan, "maintainability" terimi için, ister istemez, ana tanıma dönme zorunluluğu doğmuştur. Amacına uygun olmayan yakıştırmaların sonucu olarak ortaya çıkmış olan terimler kargaşası ve saçmalığına, özenle eğilmemiz gerekir (yazar)

ne kadar üst düzeyde ise, güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin sağlanması da göreceli olarak güçleşir.

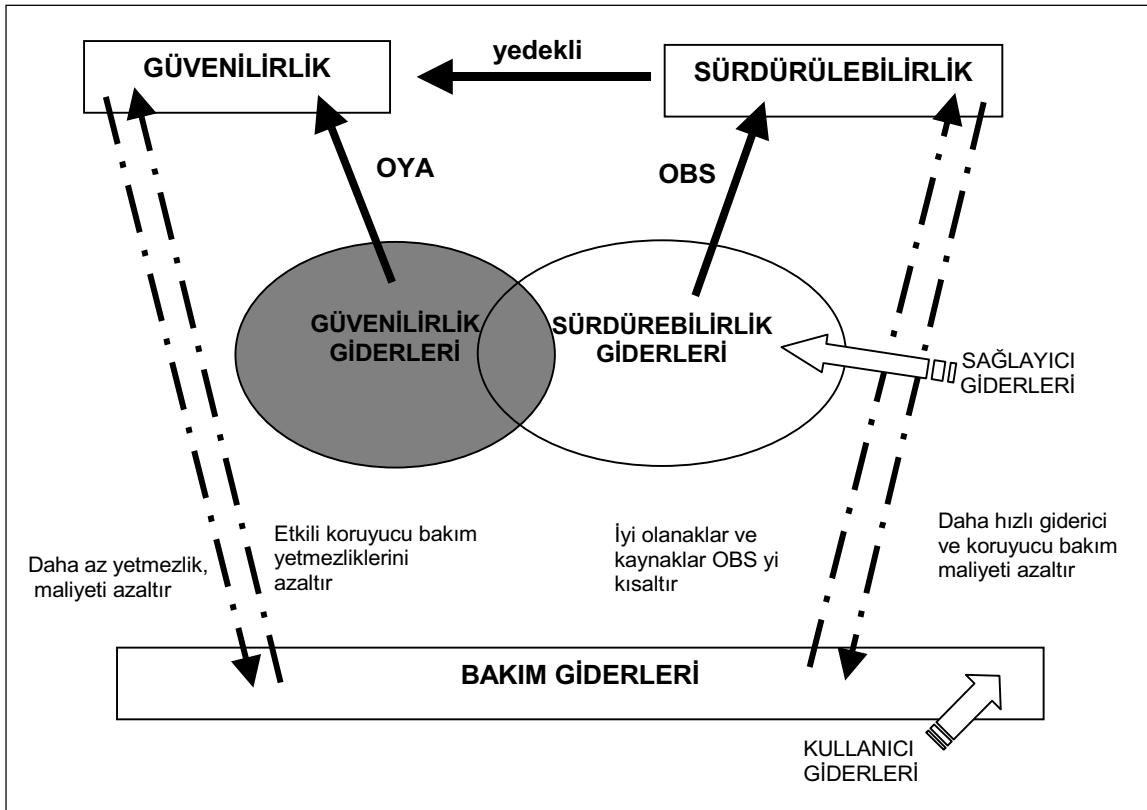
Güvenilirliğin göstergesi, "ortalama yetmezlik arasıdır, OYA". Bir ürün güvenilir olduğu ölçüde, yetmezliklerin arası uzundur. Bir diğer anlatımla, hiç yetmezliğe uğramayacak bir ürün için, kuramsal olarak, $OYA = \infty$ demektir. Hiç yetmezlik olmaması, ancak yararlı ömrü oldukça kısa olan ürünler için olasıdır; ateşlenen bir füze, yakıtı bitinceye kadar kullanılan çakmak gibi. Çevremizdeki ürünlerin büyük çoğunluğu için OYA'nın değerinin yüksek olması çok istenir olmakla birlikte, teknolojik ve parasal kısıtlar nedeni ile, bunun sağlanabilmesi çoğu kez olası değildir.

Güvenilirlik bir ürünün performansını yararlı ömrü içinde aynı düzeyde sürdürmesi olduğuna göre,

- 1- performansın sürekliliği, ve
 - 2- performansın kaybı durumunda, performansın eski düzeyine getirilmesi,
- iki ana endişe olarak ortaya çıkar. Bu iki ana endişenin teknik yönden karşılanabilmesi açısından güvenilirlik ve

sürdürülebilirlik, birbirini tümler (Şekil 1.) Şekilden, bakım giderlerinin de bir etmen olduğu görülmektedir. Bakım giderleri, klasik anlamda, işçilik, parça ve tüketim malzemeleri, vb.dir. Klasik muhasebe tekniğinde bunlar gider olarak gözüktüğünden, bakımla ilgili etkinlikler, çoğu kez, maliyeti arttırıcı etmenler olarak görülür. Günümüzde, bakım giderleri anlayışı da değişmiş ve bu değişiklik, sürdürülebilirliğe yeni boyut kazandıran etkenlerden biri olmuştur.

Günümüzdeki temel işletmecilik ilkesi, eldeki sistemi, %100 verimle, %100 hazır durumda tutmaktır. Örneğin bir otobüs, arızalandığı için sefere çıkamaz ise, taşınamayan yolcu nedeni ile bir kayıp söz konusudur. Öte yandan, yakıt tüketimi artmış otobüs yolcu taşıyabilmektedir ama yolcu başına işletme maliyeti artmıştır; bu da bir kayıptır. Bakımcılığı ilgilendiren tüm çalışmalar artık "kayıpları azaltma" anlayışı ile ele alınmakta olduğundan, performans/yetmezlik ve hazır-oluş kavramları ağırlıklı olarak önem kazanmıştır.



Şekil 1. Güvenilirlik ve Sürdürülebilirlik Arasındaki İlişki

HAZIR-OLUŞ

Hazır-oluş alıcıya dönük bir kavram olduğundan, alıcıya göreceli değişik tanımları vardır. Bu tanımlar dolayısı ile sürdürülebilirliği de yakından etkilediğinden, üzerlerinde kısaca durulacaktır.

Hazır-oluş, idealde, bir sistemin, her an, işlevlerini beklenen performans düzeyinde yerine getirebilmesidir. Dolayısı ile hazır-oluş, olasılık olarak, güvenilirliğe ancak çok idealleştirilmiş durumlarda eşittir.

Günümüzdeki anlayışla hazır-oluş, en geniş bağlamda;

$$\text{Hazır-oluş (H)} = \frac{\text{devrede olma}}{\text{devrede olma} + \text{devre-dışı kalma}} \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Buradaki devre-dışı kalma, tipik arızacılık dışındaki durumları da kapsar. Çalışır durumdaki bir uçağın yakıt alma, temizlik, ikram gereklerinin yüklenmesi gibi nedenlerle yerde kalması, bu bağlamdadır. Metro ve banliyö trenlerinin çok kapılı ve vagonların tabanları ile istasyonlardaki platformların aynı düzeyde olması, yolcuların inme/binme sürelerini asgariye indirmek içindir.

Daha dar çerçeve içindeki eski tanım ise,

$$H = \frac{\text{OYA}}{\text{OYA} + \text{OGBS}} \quad (2)$$

olarak verilmektedir. Denklemin gösterdiği gibi, **OGBS** (ortalama giderici bakım süresi) nicelik olarak küçük veya **OYA** (ortalama yetmezlik arası) büyük ise, hazır-oluşun aritmetik olarak %100'e yaklaşacağı ortadadır. Hazır-oluş her iki değişkenin uzlaştırılmasını gerektirdiğinden, hazır-oluşun değişik tanımları vardır:

Hazır-oluş (doğal - inherent): Bu tanım, tasarımcının kararlarına dayalıdır, yukarıdaki eski tanıma uygun olarak, bekleme, koruyucu bakım, lojistik ve yönetsel işlemlerden doğan devre-dışı kalmayı hesaba katmaz; yalnızca bir yetmezlik veya aksaklık durumundaki giderici bakımı ele alır.

$$H_d = \frac{\text{OYA}}{\text{OYA} + \text{OGBS}} \quad (3)$$

Hazır-oluş (elde edilen-achieved)- Sistemin hazır-oluşunun destek hizmetlerinin (personel, takımlar, araçlar,

yedekler, vb.) hemen hazır olmasına koşullu olarak tanımlanmasıdır. Lojistik, bekleme ve gecikmeler hesaba katılmaz. Bu nedenle, koruyucu ve giderici bakım süreleri destek anlamında tanımlandıklarından, devre-dışı süreden sayılır.

$$H_e = \frac{\text{OBA}}{\text{OBA} + \text{OBS}} \quad (4)$$

OBA - Ortalama bakım aralığı

OBS - Ortalama bakım süresi

Hazır-oluş (operasyonel)- İşletme ve kullanımdaki tüm süreleri göz önüne alır. Bu nedenle, operasyonel olarak anılır. Görüldüğü gibi, bu tanımda hazır-oluş bileşenler açısından çok daha geniş bağlamda ele alınmakta (bekleme, gecikmeler ve giderici ve koruyucu bakım) ve lojistik ve görev planlamaların da etkisini göz önünde tutmaktadır.

$$H_o = \frac{\text{OBA}}{\text{OBA} + \text{ODDK}} \quad (5)$$

ODDK- Ortalama devre-dışı kalış.

Tanımların çizgesel olarak karşılaştırması aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Görüldüğü gibi, basit tanımlar çok yanıltıcı olabilir.

Hazır-oluş	OYA	GB	KB	Loj.	Yön.
Doğal	x	x			
Elde edilen	x	x	x		
Operasyonel	x	x	x	x	x

Devre dışı kalmanın günümüzdeki doğrudan ve dolaylı maliyeti, bir sistemi tam verimle çalışır durumda tutmayı ve devre dışı kalma sürelerini asgariye indirmeyi ana amaç konumuna getirmiştir. Elektrik kesilmesinin yarattığı aksamalar, bilgisayar arızasının banka işlemlerinde neden olduğu karmaşa göz önüne getirildiğinde, yukarıda ele alınmış olan kavramların önemi kolayca anlaşılır.

Hazır-oluşun en önemli olduğu durumlar, özellikle ülkelerin hava kuvvetleridir. Söz konusu durumun ne kadar önemli olduğu ve bu alandaki gelişmeler

konusunda verilecek bir örnek, konunun öneminin anlaşılmasına yardımcı olacaktır. F-105 uçaklarının ilk modelleri, 1 uçuş saatinden sonra, yeni göreve hazır olma için, 75 adam/saatlik bakım gerektirmekte idi. Daha yakın tarihte tasarlanmış olan F-16'lar için bu süre, yaklaşık 4.5 saattir. Elde edilmiş olan sonuç, daha üstün güvenilirlik ve sürdürülebilirlikle mümkün olmuştur.

SINANABİLİRLİK

Sinanabilirlik, sürdürülebilirliğin bir alt tanımı olarak ön plana çıkmıştır. Bir sistemin performansının korunması ön planda olduğunda, performans kaybının en kısa sürede belirlenmesi büyük önem taşır. Bir sistemin devre dışı kalmasından doğabilecek zararların boyutları da, arızalı veya kötümüş bir sistemin en kısa sürede eski durumuna getirilmesini gerektirir. Bu nedenle, özellikle büyük ve karmaşık sistemlerde, arıza veya aksaklığın en kısa sürede giderilmesi kadar, arıza ve aksaklığın en kısa sürede tanısı ve yapılmış olan bakım çalışmalarının ne ölçüde etkili olmuş olduğunun belirlenmesi de büyük önem taşır. Sinanabilirlik, asgari maliyet ve süre kaybı ile bir ürünün bulunduğu durumun belirlenmesine (çalıştırılabilir, arızalı veya kötümüş) ve arızanın kaynağına inilmesine elverdiren tasarım özelliğidir. Sinanabilirlik durumu ortaya koymaya yönelik olduğundan, tasarımın ve üretimin değişik evrelerinde gereken kolaylıkla uygulanabilmesinin büyük önemi vardır.

Bu gereksinimin sonucu olarak, karmaşık sistemlerin izlenmesini sağlayacak aygıtlar veya alt sistemler giderek önem kazanmıştır. Birçok otomobil, kendi "sınama" sistemi ile kontrol edilmekte ve arızanın tanısı kolaylaşmakta ve hızlanmaktadır. Özellikle duyarğaçlar (sensor) ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle, söz konusu aygıtların *yerleşik* (built-in) olması giderek gelişen bir uygulamadır. Nitekim, yeni nesil uçaklarda, uçuş sırasında arızanın tanısı mümkün olduğu gibi, lojistik gereksinimler de, uçağın ineceği hava alanına önceden bildirilerek, yerde kaybedilecek süre kazanılmaktadır.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sürdürülebilirlik kavramının en sıra dışı özelliği, beklentilerin kullanıcıya göre farklılık göstermesidir. Örneğin; otomobilini iş gününde servis istasyonuna bırakan bir çalışan, otomobilini akşam üstü almakla sıkıntıya düşmez; ama aynı kişi, hafta sonu ise, arabasına en kısa sürede kavuşmak ister. Öte yandan, bir taksi şoförü için aynı süre, bir giderin yanı sıra, önemli gelir kaybıdır da... Ancak, her iki otomobil sahibi de, servise girmiş olan araçlarının kabul edilir *performans* düzeyine getirilmiş olmasını beklerler.

Sürdürülebilirliği önemli kılan, diğer disiplinlerle olan yakın ilişkisidir. Nitekim, başta verilmiş olan BS 4778'deki tanım, daha sonra, "göreceli kolaylık ve süreden ve kaynaklardan göreceli tasarruf" ibaresi ile tamlanmıştır. Dolayısı ile, sürdürülebilirlik temel anlamda bir ürünün tasarım özelliği olup;

- 1) yetmezliklerin önlenmesindeki kolaylık ve maliyet ile (bir ürünün belirlenmiş durumda tutulması), ve
- 2) yetmezliklerin giderilmesi (ürünü belirlenmiş duruma getirme)

gibi iki ana etkinlik olarak düşünülebilir. Bir diğer anlatımla, tasarımla ortaya çıkartılacak ürünün bakımının kolay olması (*serviceable*) ve ürünün maliyetle-dengeli biçimde kullanıma hazır duruma getirilebilmesi veya kullanıma hazır durumda tutulabilmesi (*supportable*) hedeflenir. Her ne kadar bakım personelinin eğitimi ve bakım olanakları devre-dışı kalma süresini etkilerse de, kötü tasarlanmış bir ürünün bakımının bu yolla kolaylaştırılması olası değildir.

İŞLETME ve GİDERLER AÇISINDAN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Örneklerden izleneceği gibi, sürdürülebilirlik, hem performansın beklenildiği biçimde olmasının hem de bakım giderlerinin bir ölçütüdür. Bir sistemin başarımının hız, yakıt tüketimi, güç, kapasite, menzil gibi değişik ölçütleri olabilir. Ama bir sistemin hazır olması veya onarılması için gereken süre ve kaynakların aşırı olması, sistemin gerektiğinde devre-dışı olması veya giderlerinin karşılanamaması gibi durumlar doğurur.

Sürdürülebilirliğin, bir sistemin işlevlerini yerine getirebilmesi açısından önemi açıktır. Yetmezliğe uğramayan ürünler her an göreve hazır demektir; ama bu tür ürünler çok enderdir. Her ürün yetmezliğe uğrayabileceğinden, en kısa sürede işler duruma getirilmesi temeldir. Yetmezliğin giderilmesi ister parça değiştirme, ister onarım veya bir başka biçimde olsun, yetmezliğin türünün ve yerinin en kısa sürede tanısı, bu noktaya hızla ulaşılabilmesi ve gereken işlemlerin en çabuk biçimde yapılması (sökülme, takma, ayar, vb), "*vaktin nakit olduğu günümüzde*", ağırlığı giderek artan bir etmen olmaktadır.

Ömür-döngüsü maliyeti (life cycle costs), bir ürüne sahip olunmasından ürünün elden çıkartılmasına kadarki evrelerdeki tüm giderlerin göz önünde tutulmasıdır. Konu şu açıdan önemlidir: Örneğin, "X" marka bir askeri helikopterin satış fiyatı 5.5 milyon dolar ama bu helikopterin ömür döngüsü içindeki maliyeti 18 milyon dolar dolayındadır. Bu nedenle, alıcının ürünün ömür döngüsü maliyetini karşılamaya gücünün yetip yetmeyeceğini vurgulamak için, *kesesi elvermek* (affordability) terimi de ilgili kaynaklarda yerini almıştır.

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİN DİĞER İLİŞKİLERİ

Sürdürülebilirliğin tasarımın ürünü olduğu gerçeği, gözden kaçırılmamalı ve tasarım etkinliklerindeki kazanımlar, üretim sırasında yitirilmemelidir. Bu açıdan, çakışık *mühendislik* (concurrent engineering) uygulamalarına gereken ağırlık verilmelidir.

Bakım etkinlikleri geniş çapta insana dayalı olduğundan, insanın katkısı ve kısıtları elde edilecek sonuçlar açısından çok etkilidir. Tasarım aşamasında, antropometrik ve psikolojik özelliklerin üzerinde dikkatle durulmuş olmalıdır. İki büklüm çalışmak zorunda kaldıkları durumlarda, bakımcıların güçlerini ve dikkatlerini koruyamayacakları unutulmamalıdır.

Güvenlik, sürdürülebilirlik etkinliklerinin her aşamasında üzerinde durulması gereken bir konudur. Kişiler kadar, ürünün de bakım etkinlikleri sırasında hasar görmemesi temel endişeler arasındadır.

Bir ürünün lojistik destek gerekleri, tasarım aşamasında üzerinde dikkatle durulması gereken konular arasındadır.

İnsanların katkıları ve bunların dereceleri, destek ve sınamaya ilişkin teçhizat, eğitim, yedek parça, malzeme sağlama, bakım kitapları, işlem yaprakları ve iş talimatları özenle ele alınmış olmalıdır. Nitekim, doğal ve operasyonel hazır-oluş gibi farklı kavramların ortaya çıkmasındaki başlıca neden lojistik destek ile ilintili konulardır.

SONUÇ

Bakımcılık, klasik onarımcılıktan anlayışından hızla uzaklaşmış ve başarılı ve verimli işletmenin kilit taşlarından biri olmuştur. İleri ülkelerle karşılaştırıldığında, "bakımcılık" alanında yapmamız gereken daha çok şey vardır. Hizmetin kesintisiz olması ve verimli olması anlayışı ülkemizde de ileri ülkelerdeki ölçütlere ulaştığında, sürdürülebilirliğin önemi ve ağırlığı daha iyi anlaşılacaktır.

KAYNAKÇA

1. **Esin , A.** (2003), Bakım Yönetiminde Yeni Anlayış ve Kavramlar, MMO Denizli Bakım Teknolojileri Kongresi
 2. **Blanchard, B.S., Verma, D. And Peterson, E.L.** (1995) Maintainability, John Wiley & Sons, New York.
 3. **Knezevic, J.** (1993) Reliability, Maintainability and Supportability Engineering – A Probabilistic Approach, McGraw-Hill, london 292 pp. Plus sorftware PROBCAR
 4. **Anderson, R.T. and Neri, L.** (1990) Reliability-Centered Maintenance: Management and Engineering Methods, Elsevier Science Publisher, London.
- Standard niteliğindeki kaynaklar:
5. **DoD Handbook** (1997) Designing and Developing Maintainable Products and Systems.
 6. **MIL-STD-470B** (1983) Military Standard, Maintainability Program for Systems and Equipment, Department of Defense, Washington, DC.
 7. **MIL-H-46855B** (1981) Human Engineering Requirements for Military Systems, Data Item Description DI-H-7057 Human Engineering Design Approach Document-Maintainer, Department of Defense, Washington, DC.
 8. **MIL-STD-721C** (1966) Military Standard, Definitions of Effectiveness Terms for Reliability, Maintainability, Human Factors and Safety, Department of Defense, Washington, DC.
 9. **MIL-HDBK-472** (1969) Military Handbook, Maintainability Prediction, Department of Defense, Washington, DC.
 10. **MIL-STD-471A** (1969) Military Standard, Maintainability Verification, Demonstration, Evaluation, Department of Defense, Washington, DC.