

DERLEME

MEKANİZMALARIN TASARIMINDA UZMAN SİSTEMLER

Ertuğrul TAÇGIN*
Ramazan TAŞALTIN**

Özet: Bilgisayar Bilimlerinin bir branşı olan Yapay Zeka (YZ) teknikleri hemen hemen bütün mühendislik disiplinlerine girmeye başlamıştır. Uzman Sistemler bir YZ tekniği olup ilk YZ araştırmacılarının ana hedeflerinden olan farklı problemleri çözebilen genel amaçlı zeki yazılım ortamları oluşturma konusunda hızlı gelişmeler göstermektedirler. Uzman Sistemlerin uygulama alanı bulunduğu alanlardan birisi mekanizmalardır. Bu çalışmada, mekanizma tasarımı çalışmalarının ışığında bilgi mühendisliği teknolojisinin altyapısı gözden geçirilmiştir. Programlama ortamında mekanizmaların tanımlanmaları ve Uzman Sistem teknolojisinin mekanizma tasarımı uygulamaları tanıtılmıştır. Mekanizma tasarımında bazı Uzman Sistem uygulamaları incelenmiş ve kapasiteleri tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Uzman sistemler, mekanizmalar, tasarım, CAD

EXPERT SYSTEMS IN MECHANISM DESIGN

Summary: The techniques of Artificial Intelligence (AI), a branch of Computer Science, have been rapidly entering into almost all disciplines of engineering. Expert Systems are the most encouraging product of AI and present a departure from the original aim of pioneering AI researchers to built general purpose intelligent tools for solving variety of problems., one of which is the design of mechanical systems and mechanisms. In this work, the technology underlying the field of knowledge engineering is reviewed with the examples of mechanism design to highlight the nature of expert systems and their infrastructure. The application of Expert Systems technology in the design of mechanisms is discussed together with the representation techniques of mechanisms for programming purpose. Some of the recent applications of expert systems in mechanism design are described and their capabilities are discussed.

Keywords: Expert systems, mechanisms, design, CAD

1. GİRİŞ

Bilgi Tabanlı Zeki Sistemler (Intelligent Knowledge Based Systems, IKBS), Bilgi Tabanlı Sistemler (Knowledge Based Systems, KBS), ya da kısaca Uzman Sistemler (Expert Systems, ES), Bilgisayar Bilimlerinin (Computer Science) bir branşı olan ve problemleri daha geniş bir perspektifte inceleyip, çözümünde insan zekasının özelliklerini kullanmayı hedefleyen Yapay Zeka (Artificial Intelligence, AI) tekniklerinden birisidir. Çeşitli problemleri çözmek için genel amaçlı program olarak özetlenebilen bu teknik, diğer Yapay Zeka teknikleri içinde önemli yeri olan

* Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Göztepe-İstanbul.

** İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak Fakültesi, Maslak-İstanbul.

bir tekniktir. Başlangıçta, kimya, jeoloji, matematik ve tıp alanında geliştirilmeye başlanan ilk uzman sistemlerin beklenmeyen büyük başarısı, mühendislik dahil, diğer bilim dallarında çalışan araştırmacıları da, bu tekniği kendi alanlarında uygulamak için teşvik etmiştir. Mühendislik dallarında, uzman sistemler, önceleri tecrübeli bir mühendisin yapacağı mühendislik seçimlerini yapabilen programlar olarak düşünülmüş; daha sonra rutin tasarım yapan ve hatta çok sayıda tasarımcının uzun yıllar çalışarak geliştirdikleri, ileri derecede zeki davranış gerektiren mekanik, elektronik, mimari sistemleri tasarlayabilen programlar geliştirilmiştir. Son yıllarında üretilip uygun fiyatlarla piyasaya sürülen mini ve mikro bilgisayarlar (PC), uzman sistemleri daha da cazip hale getirmiş ve yeni bir bilim dalı olan Bilgi Mühendisliğinin (Knowledge Engineering) doğmasında katalizör rolü oynamıştır.

Bu makale iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, uzman sistemlerin tekniği ve ayrıntılı yapıları, mekanizma tasarımından örnekler verilerek anlatılmıştır. Uzman sistemlerin yapıları bilgi tabanı, çıkarım (veya istihraç mekanizması, kullanıcı ilişki ünitesi olarak dört ünite şeklinde düşünülmüş; bunlardan ilk ikisinin, her uzman sistemde bulunması gerektiği ve uzman sistemin “gücünü” belirlediği vurgulanmıştır. Bilgi tabanı ünitesinde, bilgiyi program ortamına aktarma yöntemleri gösterilmiş; çıkarım mekanizması ünitesinde, bu bilgileri kullanarak sonuca varış teknikleri anlatılmıştır. İkinci bölümde ise mekanizmaların tasarımında uzman sistemlerin kullanılmaları incelenerek önce klasik teknikler ile mekanizma tasarımı yapmanın zorlukları ve uzman sistemlerin sağlayacağı kolaylıklar açıklanmıştır. Mekanizmaları bilgisayar ortamına aktarma teknikleri ve bir hedefe varmak için bu bilgileri kontrol etme yöntemleri anlatılmıştır. Son olarak, mekanizma tasarımını veya tasarım aşamasındaki herhangi bir özelliğin belirlenmesini modelleyen uzman sistemler tanıtılmış, bu programların özellikleri ve kapasiteleri hakkında bilgi verilmiştir. Bu makalenin hazırlanmasında [1-3]’deki çalışmalardan geniş ölçüde yararlanılmıştır.

2. UZMAN SİSTEMLERİN YAPISI

Bir uzman sistem en genel halde aşağıdaki ünitelerden oluşur.

- Çözülecek problem ile ilgili (hüküm, açıklama, kural gibi) bilgilerin depolandığı “bilgi tabanı” ünitesi.
- Bilgi tabanında depolanan bilgileri, bir sonuç elde etmek için, mantıklı bir sıra ile icra eden “çıkarım mekanizması” ünitesi.
- Kullanıcının uzman sistem ile kolayca bilgi alışverişinde bulunmasına imkan veren “kullanıcı ilişki” ünitesi.
- Bilgi tabanını otomatik olarak geliştirmeye yardım eden “bilgi edinme” ünitesi.

Şekil 1, bu ünitelerin birbirleri ile ilişkilerini göstermekte olup, bu şekilde, bir uzman sistemin en önemli çekirdek ünitelerinin bilgi tabanı ve çıkarım mekanizması olduğunu vurgulamak için bu üniteler merkezde gösterilmişlerdir. Bu iki ünite, diğer bölümlerde ayrıntılı olarak inceleneceklerdir. Her uzman sistemde “kullanıcı

ilişki” ünitesinin basit yada gelişmiş bir şekilde bulunmasına karşın, bilgi edinme ünitesinin her zaman bulunması gerekmemektedir. Şekilde, bilgi tabanı ile çıkarım mekanizmasının ayrı ayrı üniteler halinde gösterilmelerinin nedeni, bir uzman sistemde, çözülmesi düşünülen bir problem ile ilgili bilgileri problem çözme stratejisinden genellikle kesin çizgilerle ayrılmasıdır. Bu ayrı yapının iki büyük faydasından birisi, bir uzman sistemden bir başka uzman sistem elde etmek istendiğinde, sadece bilgi tabanındaki eski bilgilerin, yeni probleme ait bilgilerle yer değiştirmesinin yeterli olması; diğer bir deyişle, ilk çıkarım mekanizmasının aynen kullanılabilmesidir. Diğer bir fayda ise, bilgi tabanındaki bilgilerin çözüm arama, açıklama yapma bilgi edinme gibi değişik operasyonlar sırasında bir defadan daha fazla kullanılabilmesidir. Dolayısıyla, uzman sistemin bilgi tabanına, bilginin nasıl icra edilip nasıl sonuç alınacağı ile ilgili bilgiler verilmeden, sadece çözülecek problem ile ilgili bilgileri vermek yerli olacaktır.

3. BİLGİ TABANI

Bir uzman sistemin gücünün önemli bir bölümünü bilgi tabanına yerleştirilen bilgi oluşturmaktadır. Ancak bu bilgi klasik “database”lerdeki gibi, bilgilerin toplanıp depolanması şeklinde olmayıp, temsil ettiği problemin yapısını yansıtarak, problemi “anlamaya” da yönelik olarak ifade edilmelidir. Bu “problemin yapısı” ve “problemi anlama” özellikleri, geniş ölçüde bilginin ifade edilme şekline bağlıdır. En çok kullanılan bilgi ifade şekilleri bu bölümde gözden geçirileceklerdir.

3.1. Bilgiyi İfade Etme Şekilleri

Bilgiyi ifade etmenin pek çok yolu bulunmakla birlikte, en çok kullanılan ifade teknikleri, kurallar (rules), çerçeveler (frames) ve ifade ağları (semantic nets)” dir. Bunlarda kurala dayalı ifade şekli (rule-based representation) yüzeysel ifadeler için daha uygun olmakta, ayrıntılı ve derin ifadeler (deep representation) için çerçeveler ve ifade ağları tercih edilmektedir. Ancak bu tercihler sadece tavsiye bazında olduğundan, bu durumu genellemek doğru değildir.

Kurala dayalı ifade: Bilgi tabanı kurala dayalı olarak ifade edilmiş kurala dayalı bir uzman sistemde (a rule-based system), bilgi, problem ile ilgili hükümler “facts” ve bu hükümleri yönlendirip yöneten kurallar ile ifade edilir. Kurala dayalı bir çok uzman sistemde, kuralları yönlendiren kurallar da (meta rules) bulunmaktadır. Hükümler, cisimleri tarif eden veya cisimler arasındaki ilişkileri belirleyen ifadeler olup, mekanizma tasarımı yapan bir uzman sistemdeki bazı hükümler “Krank-biyel mekanizması bir kol mekanizmasıdır”, “Kol mekanizmalarının kol tipi uzuvları vardır”, “Kol tipi uzuvlar mafsal ile bağlıdır” şeklinde düşünülebilir. Kurallar, ön şartlı bilgi üniteler olup, genel yapıları “IF <durum> THEN < eylem>” şeklindedir. Bu yapıda, <durum> bölümü koşul olup, eğer bu koşul sağlanırsa, < eylem > icra edilecek; aksi halde edilmeyecektir. Bazı örnek kurallar şunlardır.

(a) IF <herhangi bir kinematik zincir halkasında ikiden fazla kayar mafsal varsa> THEN < kinematik zinciri iptal et >

(b) IF <çıkış hareketi ötelemeyse > THEN <en az bir mafsalin kayar mafsali olması ihtimali yüksektir >

(c) IF < problem giriş-çıkış tipi bir problem ise > ve< gerçekleştirilecek pozisyon sayısı 12 ile 17'nin arasında veya bunlara eşit ise> ve <sabit mafsali sayısı 2 veya 3 ise > THEN <8 uzuvlu mekanizmaları üreten kuralları icra et > [4]

Burada (a) ve (b) deki kurallar arasındaki en bariz fark, (a)'daki kural kesin bir hipotez belirtirken, (b) deki kural sadece bir ihtimali ifade etmektedir. Bir bilgi tabanında (b) tipi kurallar bulunduğu, bu kurallara, ihtimalin derecesini belirten bir "belirlilik" faktörünün eklenmesi gerekir. En basit şekliyle bu faktör "Ø" ile "1" arasında bir sayı olup, "Ø" ihtimalin hiç olmadığını, "1" ihtimalin kesin olduğunu aradaki rakamlar ise ihtimalin derecesini gösterir. Bir kuralda ihtimali belirlemek için çeşitli teknikler kullanılmakta olup bunlardan en Teorisi (Bayesian Theory) ve Fuzzy Teorisi dir. (c) deki kural ise tipik bir "meta rule" yada kurallar hakkındaki kural olup, <durum> kısmındaki kuralların sağlanması durumunda, 8 uzuvlu mekanizmaları üreten kurallar icra edilecektir. Bazen aynı kurallardan oluşan kural grupları, ortak bir grup kuralı kullanmak durumunda olurlar. Kara Tahta "Black Board" adını alan bu ortak grup, diğer gruplar arasında bilgi alış verişini sağlar. Bilgiyi kurallarla ifade etme tekniği, ifade edilebilen bilginin içeriğini ilk bakışta gösterebildiğinden dolayı (transparency of rule-based representation), en popüler olan ve özellikle ampirik ve tecrübelerle dayalı bilgileri ifadede tercih edilen teknik olmasına rağmen, bir problemin bütün ayrıntılarının dikkate alınması gerektiği durumlarda en ideal ifade şekli değildir.

Çerçeve ve ilişki ağlarına dayalı ifade: Kurala dayalı ifade şeklinin tersine, çerçeveler ve ifade ağları, ayrıntılı bilgileri ifade etmek için daha çok tercih edilmekte olup; bir problemin kaynağı ile ilgili bilgileri ifade etmek için çok uygun bir yapıya sahiptirler. Çerçevelerin yapısı veri-kayıt tipinde olup bir cisimler grubu, genel bir kavram yada bunların özel bir durumu (instance) hakkındaki bilgileri kayıt etmek için kullanılırken, bir diğeri tüm mekanizma gruplarını temsil edebilir (Şekil 2). Her bir çerçeveye ait olan özellikler grubunun tanım veya değeri, ilgili kayıt boşluklarında (slot) belirtilir. Mesela, mekanizmalar çerçevesinin bir alt sınıfı olan kol mekanizmaları, "uzuv sayısı", "döner mafsali sayısı", "kayar mafsali sayısı" ve "yüksek eleman çifti" gibi kayıt boşluklarına sahip olabilir (Şekil 3). Kayıt boşlukları, tarif edilen özelliklerin değerlerinden başka, tamamıyla sabit olan, çözülecek problem yada tanımlanacak cisim ile ilgili kısıt değerlerini alabileceği gibi: sabit olmayıp, uzman sistemin bir icrası (run) boyunca defalarca değişen değerler de olabilir. Bu değişken değerler, programın koşması sırasında otomatik olarak defalarca atanıp silinebilirler. Çerçeveler, Şekil 2 de görüldüğü gibi, genellikle hiyerarşik bir yapı arz edip, üst seviyeler daha genel sınıfları temsil ederken (mesela kol mekanizmaları) alt seviyeler daha özel sınıfları temsil ederler (mesela 4 çubuk mekanizması, krank-biyel mekanizması, salınan kızak mekanizması) (Şekil 4). Bu hiyerarşik yapı sayesinde çerçeveler arasında bilgi akışı zincirleme olarak yapılabilmekte (inheritance), bu özelliklerden dolayı, bilgi tabanı çerçeve tipinde ifade edilmiş uzman sistemler daha "güçlü" sistemler olarak kabul edilmektedirler.

İlişki ağlarına dayalı ifade tekniği genel olarak çerçevelere benzemekle beraber, değişik birimler (nodes) arasındaki ilişkiler ve bilgi akışı hiyerarşik bir yapıdan ziyade, ilişki halkalarıyla (arcs) sağlanmaktadır. Mekanizmayı temsil eden basit bir ilişki ağı Şekil 5'te gösterilmiş olup burada "is-a" (dır) ve "has-part" (sahiptir) ilişki halkaları, birimler arasındaki bilgi akışını sağlayan operatörlerdir.

3.2. Bilgi Edinme

Bir uzman sistem, bilgi tabanında bulunan bilgileri değişik tekniklerle genişletebilir. Bu teknikler, en genel halde, (a) hükümlerin, kuralların, kavram yada ilişkilerin, uzman sisteme tasarımcı tarafından bildirilmesi, (b) uzman sistemin tanıyıp "anlayabileceği" bilgiler ile ilgili örneklerin sisteme verilmesi (c) uzman sistemin, kendi gözlem ve keşifleriyle kendi kendine öğrenmesi şeklinde sıralanabilir. (a) tipindeki bilgi edinme tekniği en basit ve yaygın olarak kullanılan teknik olup, hüküm ve kuralların sisteme dışarıdan LISP, PROLOG, vs gibi uygun bir programlama dili ile girilmesi şeklindedir. Geliştirilen uzman sistem paket programları, tasarımcıya girmek istediği bilgileri (İngilizce olarak) konuşma diline yakın bir şekilde girebilme imkanı tanımakta; daha sonra bu bilgileri kendi kullandığı programlama diline çevirerek bilgi tabanına ekleyebilmektedirler. (b) ve (c) tipindeki bilgi edinme teknikleri konusunda başarılı çalışmalar yapıp iyi sonuçlar alındığı bildirilmekle beraber (5-6), bu konuda henüz uzun çalışmalara ihtiyaç olduğu bir gerçektir.

4. ÇIKARIM MEKANİZMASI

Bir uzman sistemine ait en önemli elemanın bilgi tabanı olmasına rağmen , bu bilgi tabanını kullanıp sonuç üretebilecek iyi bir çıkarım mekanizması olmaması durumunda, bilgi tabanının hiçbir işe yaramayacağını açıktır. Bilgi tabanında bulunan bilgilerin ifade ediliş şekline göre, değişik çıkarım mekanizmaları mevcuttur. En çok kullanılan bilgi ifade tarzı olan "kural yorumlayıcısı" da olarak adlandırılıp, bu yorumlayıcıların yapılarında genellikle IF-THEN tipi kurallardan faydalanılır. Bununla beraber, çerçeveye veya ifade edilmiş bulunan bilgi tabanını yönlendirmek için daha uygun mekanizmalardır. Çerçeveye veya ifade ağlarına dayalı çıkarım mekanizmaları sadece bir çerçeve alt seviye ve üst seviye arasındaki çok sınırlı bir bölgede arama yapacağından, araştırma ve sonuç alma süresi çok daha kısadır.

Bir çıkarım mekanizmasının, bilgi tabanında bulunan bilgileri kullanarak sonuca varabilmesi için "ileriye zincirleme" (forward chaining) ve "geriye zincirleme" (backward chaining) adı verilen iki temel strateji geliştirilmiştir. Bunlardan ileriye zincirleme stratejisindeki temel prensip, bilgi tabanında bulunan hüküm ve bilgilerden başlayıp, bu bilgiler IF bölümünde bulunduran) kuralları icra etmek (fired) , böylece bu kuralların ikinci kısmında (veya THEN bölümlerinde bulunan) ifadeden yeni hükümler elde etmektedir. Bu proses, elde edilen her yeni hükmü de dikkate alarak, icra edilebilecek bütün kurallar tamamlanıncaya kadar devam eder. Diğer bir adı "veriye dayalı tarama" (data-driven inferencing) olan bu teknik ile

ilgili bir örnek, Şekil 6 da gösterilmiştir. Geriye zincirleme stratejisinde, taramaya hedeften (goal) başlanır ve bu hedefi gerçekleştirmek için gerekli olan hükümler, bilgi tabanındaki hedefle ilgili kurallara ait ikinci tarafların (veya THEN kısımlarının) sağlanması suretiyle elde edilmeye çalışılır. Hedefi sağlamak üzere, kuraldan elde edilen hüküm bilgi tabanında bulunmuyorsa, bu hüküm bir alt hedef olarak kabul edilip sağlanmaya çalışılır. Böylece bir çok alt hedef olarak (subgoal) zincirleme olarak oluşturulur. Alt hedeflerden bir tanesinin bilgi tabanında hüküm olarak bulunması durumunda, hedef ile beraber bütün alt hedefler yine zincirleme olarak gerçekleşir; aksi halde gerçekleşmesi istenilen hedef reddedilir. Şekil 7 de “geriye zincirleme” tekniğiyle yapılan taramaya bir örnek gösterilmiştir. Şekil 6 ve 7 deki stratejiler kıyaslandığında, geriye zincirleme tekniğinde sadece hedefi gerçekleştirmek için gerekli olan hükümler oluşturulmakta, diğerleri dikkate alınmamaktadır. Mesela, ileriye zincirleme tekniğinde “ Denenen mekanizma IS kol mekanizması” (Denenen mekanizma kol mekanizmasıDIR) hükmü oluşturulduğu halde, geriye zincirleme stratejisinde bu hüküm, hedefin bulunmasına bir faydası olmayacağından oluşturulmamıştır. Dolayısıyla büyük miktarda bilginin bulunduğu bilgi tabanlarını idare etmek için, geriye zincirleme stratejisi daha uygun görünmektedir. Sırasıyla, alttan-üste (bottom up) ve üstten-alta (top down) olarak da adlandırılan ileriye ve geriye zincirleme stratejileri, daha verimli bir çıkarım mekanizması elde etmek için genellikle birleştirilerek kullanılırlar. Çeşitli firmalar tarafından ticari amaçlarla hazırlanan, bilgi tabanı boş uzman sistemlerin (shells) çıkarım mekanizmaları genellikle fırsat bulduğunda ileriye zincirleme yapabilen geriye zincirleme (backward chaining with opportunistic forward chaining) yapabilecek şekilde tasarlanırlar.

Diğer taraftan, tarama stratejisinden tamamen bağımsız olarak, taramaya başlama noktasından hedefe varıncaya kadar olan sorgulama zincirindeki doğrultunun belirlenmesinde bir çok ihtimal söz konusu olacaktır. Bu başlangıç durumu, ileriye zincirlemede olduğu gibi “ hüküm”olabileceği gibi, geriye zincirlemedeki gibi “hedef” de olabilir. Sorgulama esnasında her bir doğrultu, farklı durumları elde edebilecek ve farklı sonuçlar üretebilecektir. Başlangıç durumundan itibaren, bu sorgulama durumunu topluca gösteren diyagrama “araştırma ağacı” (search tree) denilir. Araştırma ağacı üzerindeki sorgulama doğrultusunu belirlemek için, “derinlemesine öncelikli” (depth first) ve “genişlemesine öncelikli” (breadth first) adı verilen iki ana teknik geliştirilmiştir. Derinlemesine öncelikli araştırma, başlangıç durumundan başlayıp bir tane branş seçerek bitirinceye kadar o branşla ilgili bilgileri icra eder; bittiğinde ise bir diğer branşa geçerek aynı işleme orada devam eder. Genişlemesine öncelikli araştırmada ise, yine başlangıç durumundan başlanır, ancak önce tüm branşların birinci seviyeleri tek tek gözden geçirilerek incelenip, daha sonra ikinci, üçüncü ve sırasıyla diğer seviyelere geçilir. Şekil 8 de genişlemesini ve derinlemesine öncelikli araştırma teknikleri diyagram halinde gösterilmişlerdir.

5. MEKANİZMALAR VE UZMAN SİSTEMLER

Mekanizmalar, makinalara ait temel elemanlar oldukları halde basit bir mekanizmayı dahi ayrıntılarıyla tasarlayabilmek, oldukça uzun iteratif işlemler gerektirebilen zor bir prosestir. Mesela, yüksek basınçlarda çalışacak bir kompresor tasarımını yapabilmek için gerekebilecek kademeli bir mekanizmayı, istenilen şartlara uyan yüzlerce mekanizma arasından optimize etmek gerekecektir. Burada doğru mekanizmanın seçiminde kullanılacak en klasik yöntem, "Mechanisms in Modern Engineering Design" veya "The Hrones-Atlas" gibi temel referans kaynaklarını kullanarak, benzer fonksiyonları icra edebilen ve daha önce kullanılmış olan mekanizmaları tespit ederek, çözümü bunların içerisinde aramaktır. Referanslardan uygun bir çözüm bulunamadığı durumlarda, istenilene yakın bir çözüm üzerinde değişiklikler yapılmak suretiyle başlangıç şartların yerine getirecek bir mekanizma modeli geliştirilmeye çalışılır. Daha sonra seçilen mekanizma modelinin kinematik ve dinamik benzetim (simülasyon) yapılarak, seçilen mekanizma iyileştirilmeye çalışılır. Seçilen mekanizmanın kompleks olması halinde ise bu benzetim bazen imkansız derecede zor da olabilmektedir. Bu klasik yöntemin en büyük sakıncalarından birisi, makinanın bütün performansını etkileyecek olan mekanizmayı seçecek tasarımcının bu konuda ileri derecede bilgi ve tecrübeye sahip olması gereğidir. Bu yüzden tecrübesiz mühendisler doğru seçimleri yapmada yardımcı olmak üzere, kinematik dinamik analiz yada temel sentez işlemleri gibi rutin işlemleri yapan bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu programlar tasarımcı için çok faydalı olmakla birlikte, yine de seçilecek mekanizmanın uzuv sayısı ve uzuv boyutları gibi, pek çok parametre, tasarımcı tarafından seçilmek durumundadır. Özellikle sentez için geliştirilmiş programların büyük bir kısmı, sadece 4 çubuk mekanizması için hazırlanmış olup, diğer mekanizmaların sentezinde kullanılamazlar. Diğer taraftan, bir mekanizma tasarımı problemi her zaman tam olarak çözülebilen bir problem olmadığı gibi, bazen çok fazla çözüme de sahip olabilmektedir. Bu yüzden kullanılabilen mevcut sentez programları, mümkün olan bütün mekanizmaları inceleyerek sonuca varmaya çalışma gibi, hiç de pratik olmayan bir yola gitmektedirler. Böyle bir programı kullanan tasarımcı, kendi tecrübesini kullanarak, bunların büyük bir kısmını incelemeden elimine etmek durumunda kalmaktadır. Bu durum Uzman Sistem tekniğini mekanizma tasarımında da kullanma fikrini ortaya çıkartmıştır.

5.1. Mekanizma Tasarımında Uzman Sistemlerin Kullanımı

Uzman Sistem tekniğiyle bir mekanizma sentezinin yapılabilmesi için, önce verilen sınır şartları doğrultusunda mümkün olan bütün mekanizmalar üretilip, daha sonra tecrübeler ve mühendislik bilgileri dikkate alınarak çözüm ihtimalleri adım adım azaltılmaya çalışılır. Bütün bunları yapabilmek için, öncelikle bir mekanizma grubunu topluca ifade edebilen kinematik zincirler üretilip, bunlardan hareketle mekanizmalara geçilme yoluna gidilir. Kinematik zincirlerin ve mekanizmaların bilgisayar ortamına aktarılmasında "line graph" ve "graph" denilen iki yöntemden faydalanılır. "Line graph" yada çizgisel graf tekniğinde, zincirdeki uzuvlar çizgiyle gösterilirken, graf tekniğinde ise, mafsallar çizgilerle temsil edilip uzuvlar çizgilerin

birleşim noktalarında yer alırlar (Şekil 9). Her iki gösterilim yönteminde de, kinematik zincirler matrisler ile ifade edilebilmekte; özellikle "line graph" tekniğinde mafsalları dahi matris içinde belirtilebilmektedir. Şekil 9 da, bir robot yakalayıcı mekanizması, yakalayıcının kinematik diyagramı, kinematik zinciri ve "graph" gösterimi topluca verilmiştir [7]. Değişik zincirlerin üretilebilmeleri için, matrisdeki elemanlar değiştirilerek farklı matrisler oluşturmak yeterli olduğundan, kinematik zincirin matris halinde ifade edilebilmesi, mümkün olan bütün mekanizmaların taranması açısından büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Geliştirilen uzman sistemlerde, kinematik zincirlerin elde edilip bunların incelenerek özel mekanizmalar bulunmasında ileriye zincirleme tekniği tercih edilirken, bir mekanizmaya ait herhangi bir uzuv üzerindeki bir noktanın hareket esnasında çizdiği yörüngeden faydalanarak gerçek mekanizmayı bulma prosesinde ise geriye zincirleme tekniği daha çok kullanılmaktadır. Her iki tekniği de kullanarak mekanizma tasarımı yapan çeşitli uzman sistemler geliştirilmiş olup, bunların bazıları bu bölümde tanıtılacaklardır.

5.2. Mekanizma Tasarımı İçin Geliştirilen Bazı Uzman Sistemler

Uzman Sistem tekniğinin çeşitli bilim dallarından sonra, mühendislik seçimlerinde de başarıyla uygulanabilmesi, tasarımcılara cesaret vermiş, mekanizmalar üzerinde çalışan tasarımcılar da bu tekniği kendi alanlarında uygulamaya çalışmışlardır. Bu konuda en göz dolduran araştırma gruplarından birisi, Amerika da Minnesota Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde çalışmalarını sürdüren Prof.Dr. Artur G. Erdman ve araştırma grubudur. Değişik konular üzerinde araştırmalarına devam eden bu grubun çalışmalarından birisi, verilen şartları (boyutlardan bağımsız olarak) sağlayan mekanizmanın tipini belirlemek için geliştirdikleri bir uzman sistemdir [8]. Bu sistemde, mekanizma ile ilgili bilgiler, Freudenstein ve Maki [9] nin ilk defa geliştirip tavsiye ettikleri gibi, yapısal ve fonksiyonel bilgiler şeklinde ayrı ayrı düzenlenmiştir. Yapısal bilgiler, kinematik zinciri oluşturmak için gerekli olan serbestlik derecesi, uzuv sayısı, mafsalları sayısı ve bunlar arasındaki ilişkiler gibi fonksiyonel bilgileri içermezler. TYSES (Type Synthesis Expert System) adı verilen bu uzman sistem iki boyutlu kol mekanizmaları için geliştirilmiş olup mekanizmada yalnızca tek katlı döner ve/veya kayar mafsallar bulunabilir. Fonksiyonel bilgiler, uzuv ve mafsallarla ilgili kesin kural yada hükümler olabildikleri gibi, kesin olmayan veya tecrübeye dayalı bilgiler de olabilirler. "4 çubuk mekanizması paralel hareket üretmek için kullanılabilir" şeklindeki bir hüküm, fonksiyonel bilgi olarak bilgi tabanında bulunduğunda, bu hükümlere 0 ile 1 arasında kesinlik derecesini gösteren faktörler de atanır. TYSES ile kullanıcının ilişkisi "PARSER" ve "Sketcher" adı verilen iki ünite aracılığıyla olmakta olup, "PARSER" kullanıcının girdiği İngilizce bilgileri program diline çevirerek bilgi tabanına eklemekte "Sketcher" ise Uzman Sistemin ürettiği çözümleri figürler halinde kullanıcıya sunabilmektedir. Kinematik zincirlerin ifadesinde graf gösterilimden faydalanan sistem, bunların üretilmelerinde ise 5 aşamalı ilginç bir teknik kullanılmaktadır. Başlangıçta genel amaçlı olarak geliştirilen TYSES, robot ve robot yakalayıcılarının kinematik topolojilerini belirleyecek şekilde düzenlenerek,

tatminkar sonuçlar elde edildiği bildirilmektedir [10]. Bilgi tabanının hazırlanmasında kurala dayalı ifade tekniğini kullanan TYSES, INTERLISP dili kullanılarak VMS işletim sistemi ile çalışan VAX bilgisayarlarında geliştirilmiştir. Mekanizma tipini tasarlamak üzere, DOMES (Design Of Mechanisms by an Expert System) adlı bir başka uzman sistem Rhode ISLAND Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Uygulamalı Mekanik Bölümünde Prof. Dr.P. Datseries ve araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir [11]. TYSES den farklı olarak, DOMES, daha önce karşılaştığı problemlerde kullanıldığı çözüm tekniklerinden sürekli olarak yeni bilgiler öğrenip karşılaştığı yeni problemler ile öncekiler arasında bir analogi kurarak, daha önce karşılaşmadığı problemin çözümü için doğru stratejiler tespit edebilmektedir. Her kullanımda bilgi tabanını sürekli otomatik olarak geliştirebilmekle beraber, tasarımcıya sorduğu sorulara aldığı cevaplardan tasarım için faydalı bilgiler çıkartıp bu bilgileri kendi programlama diline çevirerek bilgi tabanına ekleyebilmektedir. DOMES, tasarımcıdan tasarım hakkındaki ana prensipleri aldıktan sonra, araştırma ihtimallerini sınırlamak için gerekli reddetme kriterlerini kendisi belirleyebilmekte, tasarımcıya yardım etmek için bir mekanizma tablosu (veya tam bir atlas) da hazırlayabilmektedir. Böylece TYSES de olmayan otomatik bir öğrenme kabiliyetine sahip olan DOMES, aynı zamanda sadece döner ve kayar çiftlere sahip düzlemsel kol mekanizmaları ile sınırlı olmayıp, çok katlı mafsallara sahip, çok serbestlik dereceli mekanizmaları da tasarlayabilmektedir. Dişli çark ve kol mekanizmalarını kombine olarak üretebilen DOMES'in uzay mekanizmaları için sonuç verebileceği de ima edilmekle birlikte, bu konuda açık bir ifadeye rastlanmamıştır. Mekanik robot yakalayıcıları ve değişken stroklu motorların tasarımları için bütün ihtimalleri tarayarak çok tatminkar sonuçlar üretebilen DOMES, kurala dayalı bir uzman sistem olup LISP programlama dilinde yazılmıştır. Mekanizma tasarımı yapan bir başka uzman sistem Oklohoma State Üniversitesi Makine, Uzay ve Uçak Bilimleri Mühendisliğinde çalışmalarına devam eden Prof. Dr.A.H.Soni ve araştırma grubu tarafından geliştirilmiştir. IMSC adı verilen sistem, mekanizma tipinin ve boyutlarının sentezin yapan iki ana üniteden oluşmuştur [4]. Bunlardan birinci ünite, kullanıcının ihtiyacına göre uygun mekanizma tipini bulma amacına yönelik olup, kullanıcı ilişki ünitesi, ve deposu, bilgi tabanı, sentez ünitesi ve çıkarım mekanizması olmak üzere 5 alt üniteden oluşmuştur. Bilgi tabanı, kurala dayalı ifade şeklinde düzenlenmiş olan sistemin çıkarım mekanizması ise derinlemesine öncelikli ileriye zincirleme stratejisine göre çalışmaktadır. Sadece döner mafsallara sahip tek serbestlik dereceli mekanizmaları tasarlayabilen uzman sistem, (a) giriş-çıkış uzuvları arasında açısız yer değiştirme uyumluluğu, (b) giriş-çıkış dışındaki uzuvlara ait bir noktanın istenilen bir yörüngeyi sağlama durumu, (c) a ve b deki şartların ikisinin birden sağlanabilmesi, (d) uzva bağlı bir rijit cisim için istenilen hareket durumunun sağlanması, (e) a ve d deki şartların ikisinin birden sağlanması şeklinde 5 temel sentez işlemini yapabilmektedir. Kullanıcıya, ürettiği çözümün sebeplerini de anlatabilen sistemin ilk ana ünitesinde bulunan mekanizma tipi hakkındaki bilgiler boyut sentezi yapmak için ikinci üniteye gönderilirler. İkinci ünite, elde edilen denklem sistemleri, ilk deneme değerlerine gerek bırakmayan güçlü bir algoritma tarafından çözülür; böylece uzman sistem, kullanıcıyla en az ilişkiye girerek istenilen mekanizmayı boyutlarıyla beraber tasarlamış olmaktadır. Franz LISP dilinde yazılan IMSC, VAX bilgisayarlarında VMS işletim sistemi

altında geliştirilmiştir. Mekanizma sentezinin bir ilgi alanı olan beklemeli mekanizma tasarımına uzman sistem tekniğinin uygulanması Prof.Dr.A.G.Erdman ve araştırma grubunun bir diğer çalışmasını oluşturmuştur. Mekanizmanın bazı uzuvları hareket halindeyken bir veya bir grup uzvunun bir süre için hareketsiz kalması anlamına gelen beklemeli mekanizmalar, genellikle doğrusal dairesel veya özel hareket tiplerini üretmek için tasarlanırlar. Bu tür mekanizmaların tasarımında genellikle yörünge eğrisi teorisi (path curvature theory) adı verilen teknik kullanılmakta, özel olarak hazırlanmış mekanizma atlaslarından da faydalanılmaktadır. Beklemeli mekanizma tasarımı yapan bir uzman sistem geliştirmek amacıyla bu teknikleri ayrıntısıyla inceleyen Prof. A.G. Erdman ve grubu, bu bilgileri uzman sistem yapısına uygun olarak sınıflandırmışlardır [12]. Elde edilen bu bilgiler kullanılarak geliştirilen uzman sistem, kullanıcıdan aldığı tasarım şartları ile ilgili kesin veya bir olasılık katsayısı ile belirlenmiş kesin olmayan bilgiler aracılığıyla, istenilen hareket türünü (doğrusal, dairesel yay veya simetrik yörünge), belirlenen hassasiyetle yerine getirebilen mekanizmaları tasarlayabilmektedir[13]. Tasarımcının, tasarımla ilgili giriş bilgilerini sistem girmesinden sonra, sistem önce bu bilgiler arasında herhangi bir çelişki olup olmadığı kontrol etmekte; daha sonra diğer işlemlerin yapılmasına izin vermektedir. Bilgi tabanının hazırlanmasında çerçeveye dayalı ifade tekniğini kullanan uzman sistemin çıkarım mekanizması kuralla dayalı ifade şekline hazırlanmıştır. Sistemde ayrıca matematiksel operasyonları daha verimli olarak yapabilmek için matematiksel üniteler (procedures) kullanılmıştır. Uzman sistemin bilgi tabanının ve çıkarım mekanizmasının geliştirilmesinde LISP programlama dili kullanılırken matematiksel ünitelerin hazırlanmasında ise FORTRAN ve C kullanılmıştır.

Aynı araştırma grubu beklemeli mekanizmaların tasarımı için daha değişik ve genel prensiplere dayanan bir başka uzman sistem daha geliştirmiştir [14]. DWELL-ASSIST adı verilen bu uzman sistem, kuramsal ve ilkel tasarım prensiplerinin özel bir mekanik sistem olan mekanizma tasarımına başarılı olarak uygulanabildiğini göstermesi açısından son derece önemli olan bu çalışma, yürek, dişli ve kol mekanizmalarının kombinezonlarını dikkate alarak beklemeli mekanizma tasarımı yapabilmektedir. DWELL-ASSIST çözülecek problemin cinsine göre yörünge eğrisi (path curvature), hassas nokta (precision point), optimizasyon gibi özel sentez tekniklerini uygulayabilmektedir. Uzman sistemin bilgi tabanında çerçeveye dayalı ifade tekniği kullanılmış, çerçeveler arasındaki bilgi aktarımı (inheritance) uyumluluk bağları gibi operatörler ile sağlanmıştır. Bu bağların ihtimal dereceleri de dikkate alınmış, buradaki belirsizliğin ifadesi için Bayes Teorisi kullanılmıştır. DWELL-ASSISTin geliştirilmesinde tamamıyla normal bir tasarım için yine yazarların araştırma grubu tarafından hazırlanan MIDAS (Mechanical Intelligent Design Assistant Shell) adlı paket program kullanılmıştır.

Çubuk elemanları içeren mekanizmaların sentezinde uzman sistem uygulaması çalışmaları daha sonra şaşırtıcı bir şekilde yavaşlamıştır. Münferit bir çalışma olarak Boing Bilgisayar Servisinden Throop D.R. mekanizma benzetimi modellerini aynı zamanda tasarımın bir parçası olarak da kullanılabilmek problemini incelemiş, bunun için gereken bilgiyi ifade etme şartlarını belirlemiştir [15].

Diğer yandan uzman sistem teknolojisi, yürek mekanizmalarının ve dişli çark mekanizmalarının tasarımı da kullanılmıştır. A. Kassim ve araştırma grubu yürek mekanizması bilgilerini bir uzman sistem bilgi tabanı formatına başarıyla çevirmişlerdir [16]. Bu çalışma LPA Win Prolog versiyon 3.0 kullanılarak windows ortamında geliştirilmiştir.

Dişli çark mekanizmaları çalışmaları da uzman sistem uygulaması çalışmalarına konu olmuştur. Liang L. ve arkadaşları silindirik dişli indirgeme mekanizmaları için bir uzman sistem geliştirmişlerdir. CGREST adını verdikleri bu sistem Çin'in 5 yıllık ekonomik kalkınma planının bir alt projesi olarak geliştirilmiştir [17]. Dobre G ve arkadaşları dişli çark mekanizmaları tasarımı uygulamaları için bir uzman sistem yazılım ortamı geliştirmişler [18]. Bir başka uzman sistem yazılım ortamı da Yiu-Wing-Chan ve Siang-Kok-Sim tarafından geliştirilmiştir [19]. Oldukça karma bir yapısı olduğu bildirilen bu yazılımda, konu hakkındaki bilgiler IF-THEN kurallarıyla, bilgi girişi çerçeve (frame) yapısıyla ve cisimler arası ilişkiler ilişkili ağlarıyla (semantic net) ifade edilmiştir. Kullanıcı ara yüzü ünitesinde Prolog kullanılırken, tasarım hesaplarında ise C dili tercih edilmiştir.

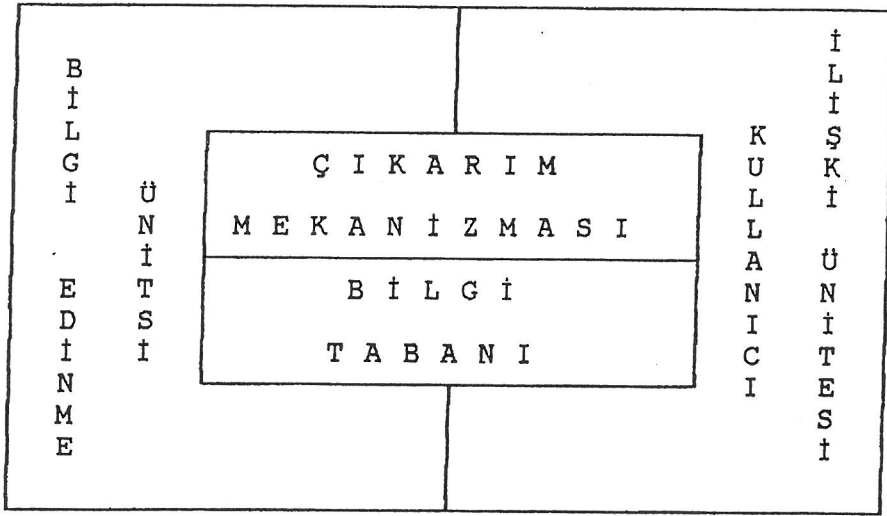
6. SONUÇ

Bu makalede, hemen hemen bütün mühendislik dallarına uygulanmakta olan Uzman Sistem tekniğinin genel yapıları, mekanizma tasarımına bağlı olarak anlatılmıştır. Mekanizma tasarımı klasik yöntemlerin kullanımı ile Uzman Sistem tekniğinin kullanımı kıyaslanarak Uzman Sistem tekniğinin çok daha verimli olduğu vurgulanmıştır. Çeşitli araştırma grupları tarafından mekanizma tasarımı yapmak için geliştirilen bazı uzman sistemler tanıtılıp bunların özellikleri incelenmiştir. Geliştirilen uzman sistemlerden elde edilen başarılar dikkate alınarak bu tekniğin mekanizma tasarımı için çok uygun bir malzeme olduğu kanaatine varılmış, ancak bu konuda yapılan çalışmaların geçen zamana rağmen halen yetersiz olduğu görülmüştür. Özellikle 1985-1990 arasında yoğun olarak ilgilenilen kol mekanizması çalışmaları 3 boyutlu tasarım çalışması denemelerine bile başlanılmadan yaklaşık 10 yıldır ciddi bir kesintiye uğramış bulunmaktadır. Yürek ve dişli mekanizması çalışmaları ise münferit olarak devam etmektedir. Dolayısıyla, mekanizma tasarımcılarının, çalışmalarının devam etmesinin ve özellikle 3 boyutlu kol mekanizmalarının sentezinde yoğunlaştırmalarının isabetli olacağı düşünülmektedir.

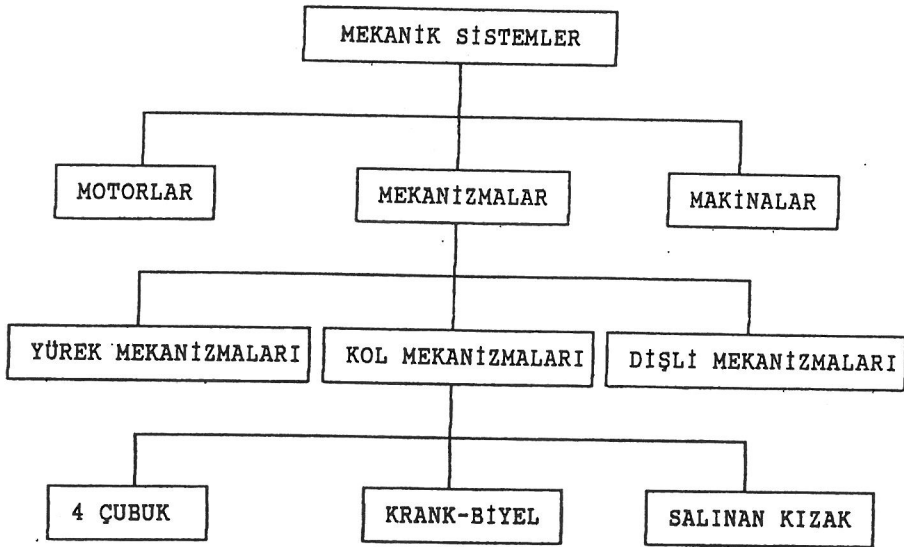
KAYNAKLAR

1. Pham, D.T. ve Pham, P.T.N., "Expert Systems in Mechanical and Manufacturing Engineering", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.3, No.3 pp.3-21, U.K., 1988.
2. Pham, D.T. ve Taçgın, E., "Techniques for Intelligent Computer Aided Design", Artificial Intelligence in Design, D.T. Pham (ed), Springer-Verlag, pp. 5-26, U.K., 1991.
3. Hoeltzel D.A. ve Cheing W.H., "Designing Mechanisms with Expert Systems", Machine Design, 1989.
4. Soni, A.H., Dado, M.H.F. ve Weng, Y., "An Automated Procedure for Intelligent Mechanism Selection and Dimensional Synthesis", Transactions of ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, 110, 1988.
5. Pham, D.T. ve Taçgın, E., "DBGRIP: A Learning Expert System for Detailed Selection of Robot Grippers", International Journal of Production Research, Vol. 29, No.8, pp. 1549-1563, 1991.
6. Walker, A., "Knowledge Systems: Principles and Practice", IBM Journal of Research and Development, Vol. 30, No.1, pp.2-13, 1986.
7. Chen, F.Y., "Gripping Mechanism for Industrial Robots", Mechanism and Machine Theory, Vol.17, NO.5, pp.299-311, U.K., 1982.
8. Thompson, T.R., Riley, D.R. ve Erdman, A.G., "An Expert Systems Approach to Type Synthesis", Proc. ASME Computer Engineering Conference, Vol.2, pp.71-75, U.S., 1985.
9. Freudenstein, F. ve Maki R., "The Creation of Mechanisms According to Kinematic Structure and Function", General Motors Research Publications, GMR-3073, 1979.
10. Erdman, A.G., Thompson, T.R. ve Riley, D.R. "Type Selection of Robot and Gripper Kinematic Topology Using Expert System", International Journal of Robotics Research, Vol.5, No.2, pp.183-189, U.S., 1986.
11. Yang, B., Dattseries, P., Datta, U. ve Kowalski J., "An Integrated System for Design of Mechanisms by An Expert System DOMES Applications", Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 113, pp.25-31, 1991.
12. Kota, S., Erdman, A.G. ve Riley, D.R., "Development of Knowledge Base for Designing Linkage-Type Dwell Mechanisms: Part 1-THEORY", Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol.109, pp.308-315, 1987.
13. Kota, S., Erdman, A.G. ve Riley, D.R., "Development of Knowledge Base for Designing Linkage-Type Dwell Mechanisms: Part 2-Applications", Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol.109, pp.316-321, 1987.
14. Rosen, D., Riley, D. ve Erdman, A., "A Knowledge Based Dwell Mechanisms Assistant Designer", Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design, Vol.113, pp.205-212, 1991.
15. Throop, D.R., "Knowledge Representation Requirements for Model Sharing Between Model-Based Reasoning And Simulation in Process Flow Domains", 22nd International Conference on Environmental Systems, Jul 13-16, pp1-7, WA, USA, 1992.
16. Gilmartin M.J. and Winfield M., "Cam Design-Knowledge Based Approach", Application of Artificial Intelligence in Engineering XII, Capri, Italy, July 1997.

17. Liang, L. ve Zhao, R, "Expert System for Cylindrical Gear Reducer Design", J. Xi an Jiaotong Univ., vol:26, n:2, pp: 29-38, China, April, 1992.
18. Dobre, G., Picasso, B., Radulescu, G., Cartoiu, C. ve Grigorescu, G. "An Intelligent Environment for Mechanical Engineering Design Application to Gear Transmission", Application of Artificial Intelligence in Engineering XII, Capri, Italy, July 1997.
19. Yiu-Wing-Chan ve Siang-Kok-Sim, "An Expert System for Gearing Design Application", Int. J. Computer Application Technology, vol: 11, no: 1-2, pp:11-26, 1998.



Şekil 1. Bir uzman sistemin yapısı (Pham ve Pham 1988)



Şekil 2. Mekanizmaların çerçeveye dayalı ifade şekli

ÇERÇEVE : Kol Mekanizmaları

Üst Grup : Mekanizmalar
Alt Grup :
Üye Sınıfı : Fiziksel Sistemler Sınıfı

Üye Kayıt : Uzun Sayısı
Cinsi : Tam Sayı
Değeri : Bilinmiyor

Üye Kayıt : Döner Mafsal Sayısı
Cinsi : Tam Sayı
Değeri : Bilinmiyor

Üye Kayıt : Kayar Mafsal Sayısı
Cinsi : Tamsayı
Değeri : Bilinmiyor

Üye Kayıt : Yüksek Eleman Çifti Sayısı
Cinsi : Tamsayı
Değeri : Bilinmiyor

(a)

ÇERÇEVE : Krank-Biyel

Üye Sınıfı : Kol Mekanizmaları

Özel Kayıt : Uzun Sayısı
Değeri : 4

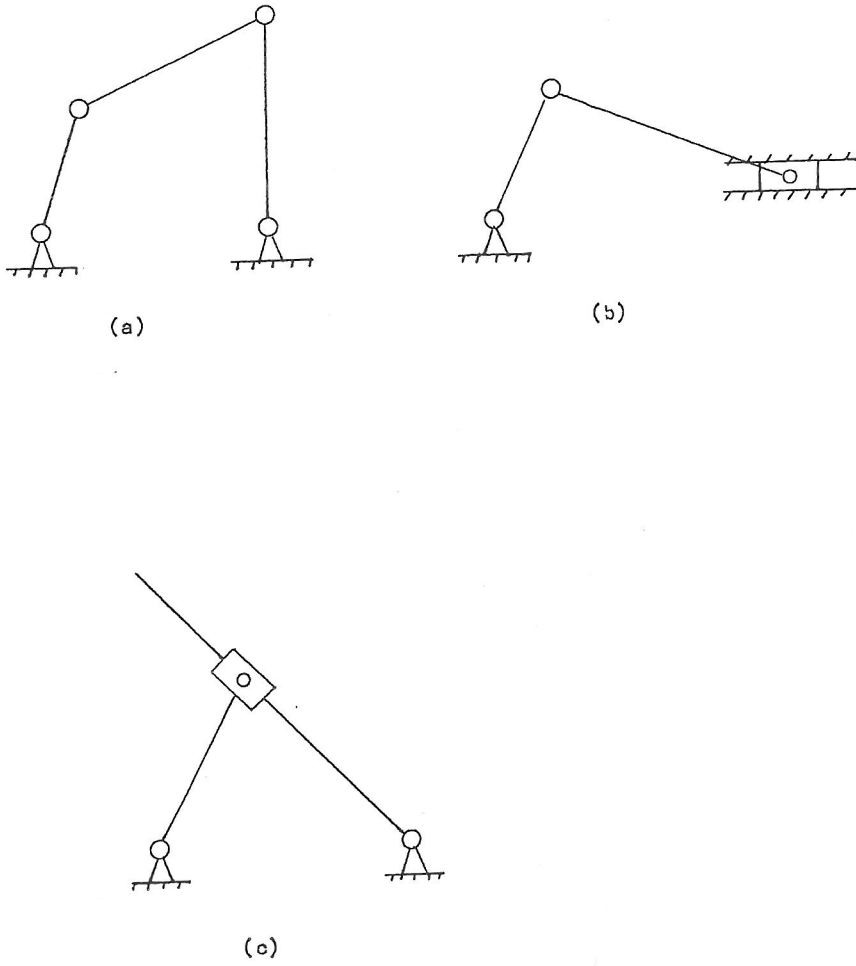
Özel Kayıt : Döner Mafsal Sayısı
Değeri : 3

Özel Kayıt : Kayar Mafsal Sayısı
Değeri : 1

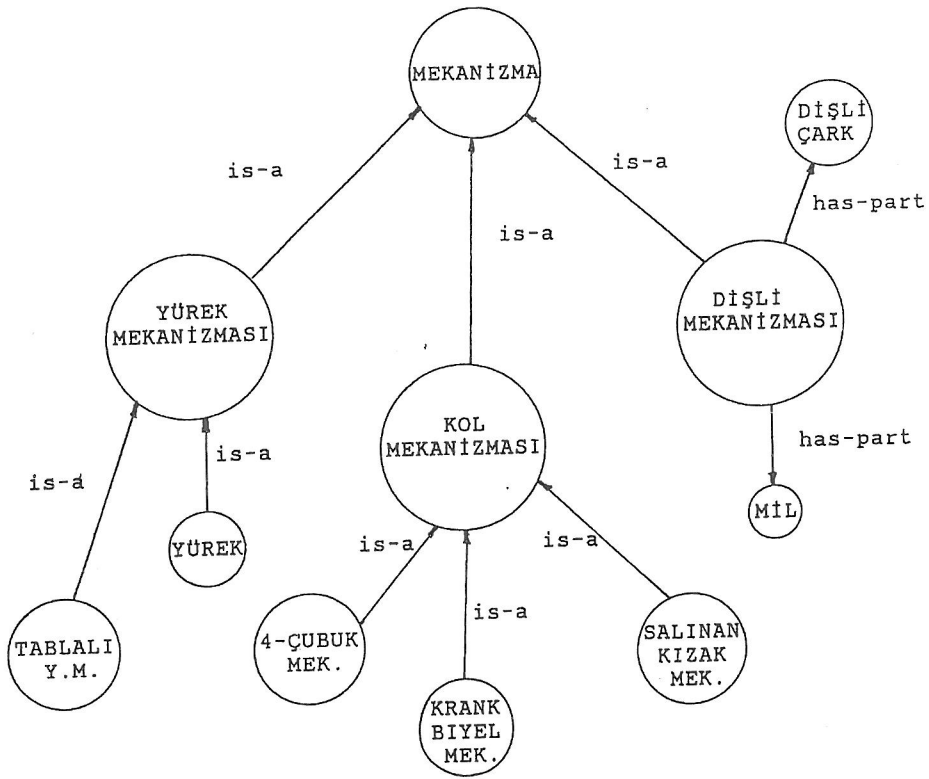
Özel Kayıt : Yüksek Eleman Çifti Sayısı
Değeri : 0

(b)

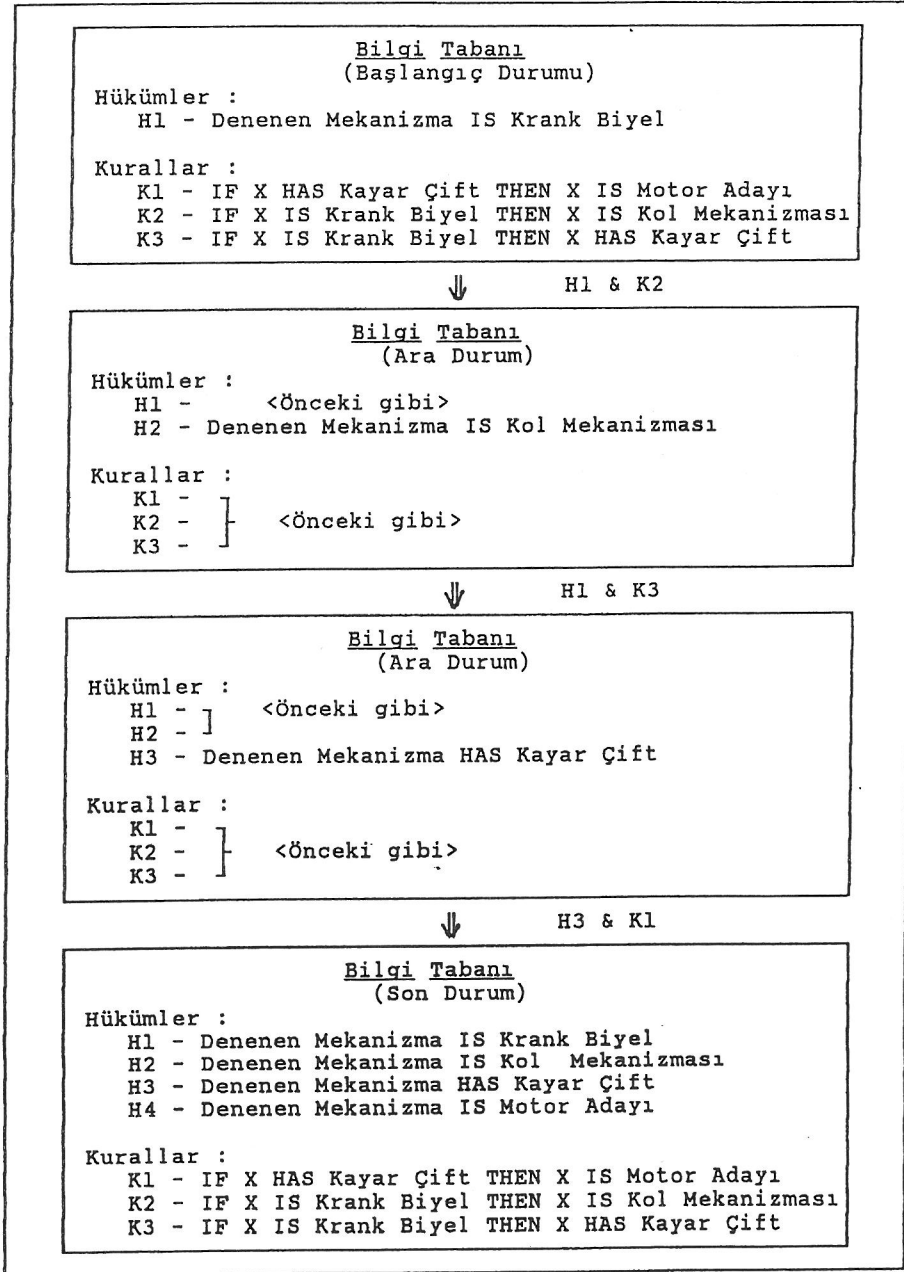
Şekil 3. Mekanizmaların alt sınıfı olan kol mekanizmalarının ve onun alt sınıfı olan krank biyelin çerçeveye dayalı gösterilimleri



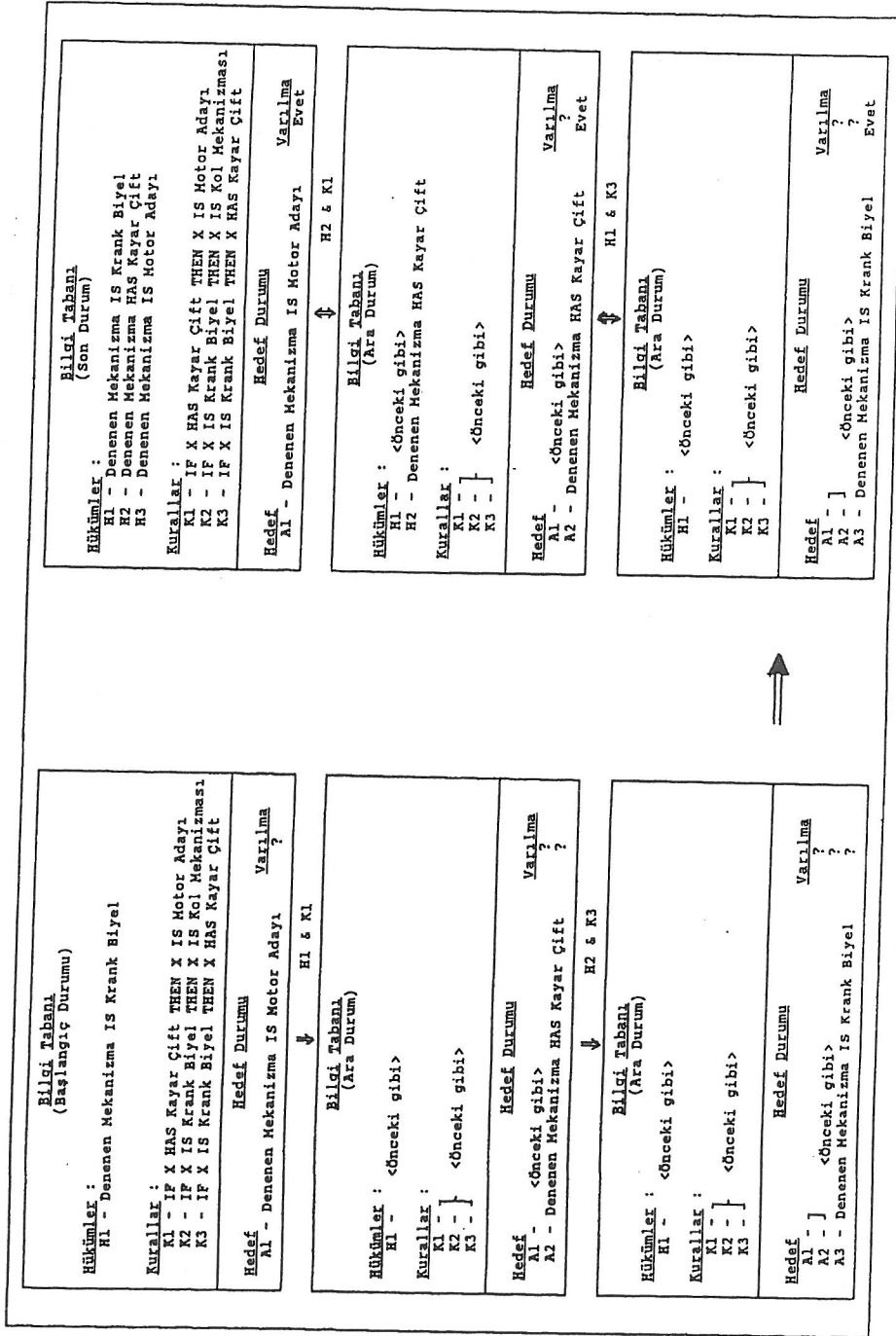
Şekil 4. (a) 4 – çubuk, (b) Krank – biyel ve (c) salınan kızak mekanizmaları



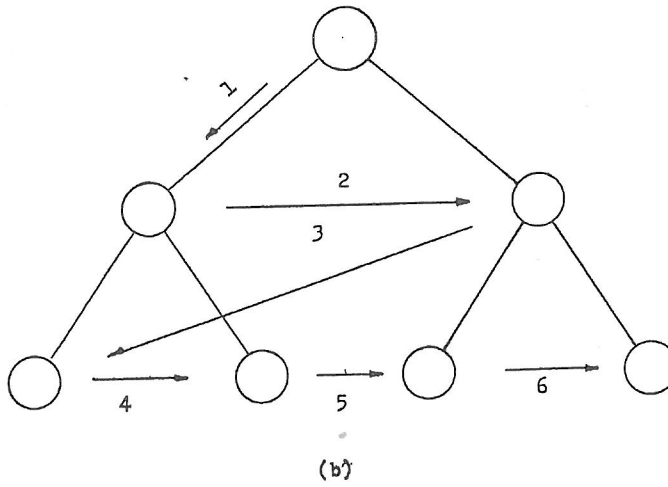
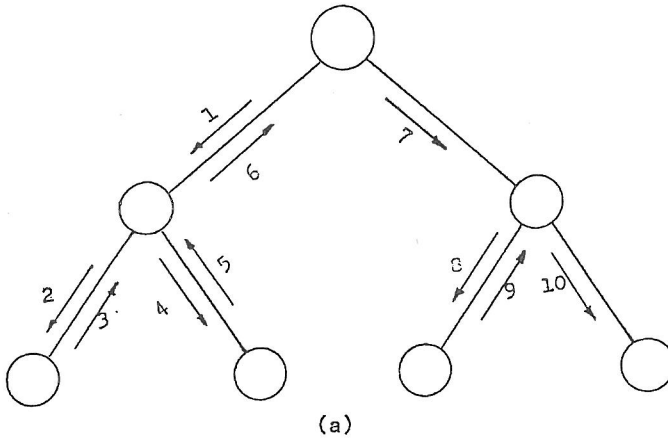
Şekil 5. Mekanizmaların ifade ağları tipinde gösterilimi



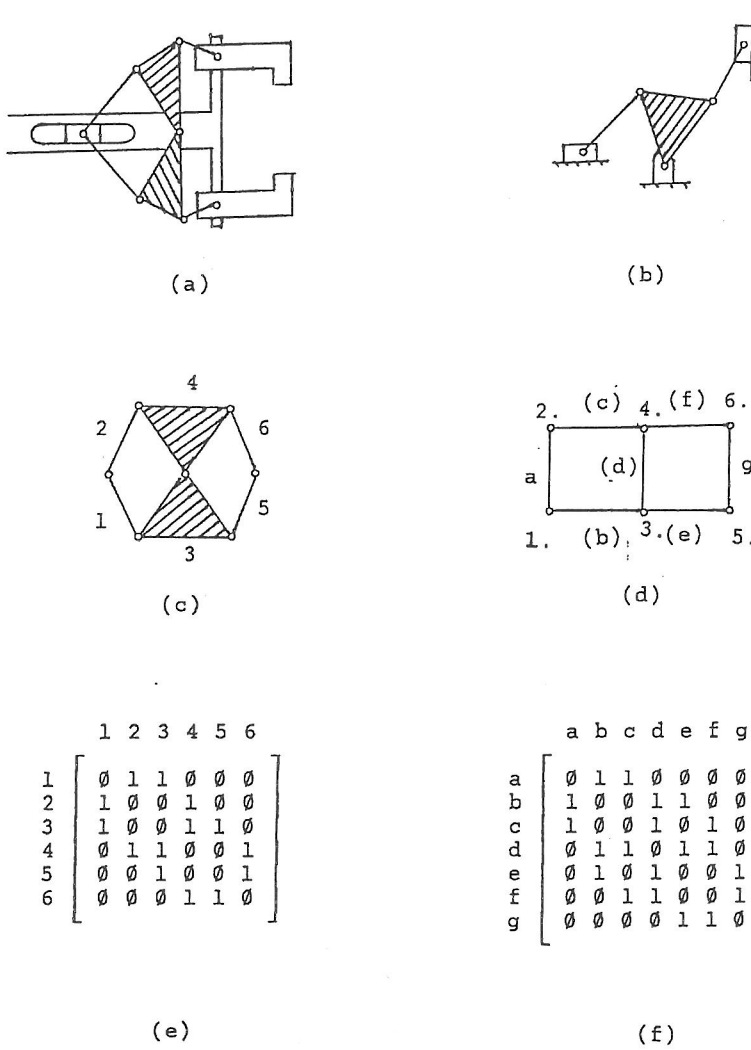
Şekil 6. İleriye zincirleme örneği



Şekil 7. Geriye zincirleme örneği



Şekil 8. (a) Derinlemesine ve (b) genişlemesine öncelikli araştırma teknikleri



Şekil 9. Bir robot yakalayıcısının (a) mekanizması, (b) kinematik diyagramı, (c) kinematik zinciri, (d) graf gösterilimi ve (e-f) sırasıyla c ve d' nin matris halinde ifadeleridir.

