

Farklı Yapıdaki Stewart Platformlarının Tek Bir Çatı Üzerinden Tasarımı Ve Benzetimi

Burak İNNER¹, Serdar KÜÇÜK², Zafer BİNGÜL³

¹Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
binner@kocaeli.edu.tr

²Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
skucuk@kocaeli.edu.tr

³Mekatronik Mühendisliği
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
zaferb@kocaeli.edu.tr

Özetçe

Genel Stewart Platform (GSP) mekanizması yapısal olarak birçok farklı şekilde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmalardan en yaygın olanı hareketli ve sabit platformdaki bağlantı noktalarının sayısına göre sınıflandırılmasıdır. Bu çalışmada farklı yapıdaki GSP mekanizmalarının tanımlanabilmesi için sabit platformdaki bağlantı noktalarının hareketli platformdaki bağlantı noktalarıyla ilişkileri bir bağlantı matrisi ile ifade edilmiştir. Bu bağlantı matrisi kullanılarak hesaplamalar yapan MATLAB ortamında grafiksel kullanıcı arabirimine sahip bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım etkileşimli olarak GSP mekanizmalarının tasarlanmasını ve benzetimini sağlamaktadır. Tasarlanan mekanizmaların kinematik hesaplamaları için birbirinden farklı kodlar yazılması yerine bağlantı matrisi göz önünde bulundurularak bir çatı (framework) geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile 6-6, 6-3, 5-5, 4-4 vb. gibi farklı bağlantı şekillerine sahip GSP mekanizmalarının benzetimi aynı arayüz üzerinden üç boyutlu katı modellerle görselleştirilmekte ve istenilen yörüngeye göre mekanizmanın yapacağı hareket animasyon şeklinde gösterilmektedir.

1. Giriş

Genellikle robotlar seri ve paralel olmak üzere iki temel gruba ayrılırlar. Seri robotlar bir dizi eklemlerden (joint) ve bu eklemleri birbirine birleştiren bağlardan (link) oluşurlar. Seri mekanizmalar, kinematik yapısı açık döngülü zincir şeklinde olan mekanizmalardır. Seri robotlar, geniş çalışma uzayına (aktif olarak robotun ulaşabileceği uzay), az sayıda mekanik parçaya ve paralel robotlara göre daha basit kinematik denklemlere sahiptir. Fakat kaldıracakları kütlenin, mekanik

yapılarının kütesine oranı çok küçüktür. Eklenen her bağın ve eklemün ağırlığını önceki bağlar ve eklemler taşıdığı gibi her bir eklemden dolayı oluşan hata uç işlevciye doğru toplanmaktadır. Ayrıca kontrolleri esnasında aynı hareketi tekrarlama kabiliyetleri de göreceli olarak düşüktür. Hassas konumlamada da sorunlar yaşatmaktadırlar. Endüstriyel seri robotlar yapı olarak kabaca insan koluna benzetilebilirler. [1]

Bir genel paralel manipülatör, uç işlevcisinin (end effector) birkaç bağımsız kinematik zincir ile tabanına bağlı kapalı döngülü kinematik zincir mekanizması olarak tanımlanmaktadır. Bu genel manipülatör tanımı oldukça geniştir. Örneğin kontrol edilebilen serbestlik derecesinden daha fazla sayıda eyleyici (actuator) bulunduran artık (redundant) mekanizmaları içine aldığı gibi ortaklaşa çalışan manipülatörleri de içine alır. Genelde aşağıdaki özellikleri sağlayan paralel manipülatörler ile ilgilenilmektedir [2]:

- Sabit platform hareketli platforma en az iki kinematik zincir ile bağlanmıştır. Bu kinematik zincirlerin her birisi en az bir tane eyleyici içermektedir.
- Uygun bir algılayıcı (sensor) yardımıyla eyleyici ile ilişkilendirilmiş değişkenler (dönme açısı veya doğrusal hareket) ölçülmektedir.
- Uç işlevcisinin serbestlik derecesi eyleyici sayısı ile eşittir.
- Eyleyiciler kilitlendiğinde (hareketsiz kaldığında) manipülatörün mobilitesi sıfırdır.

Bu tür mekanizmalar aşağıdaki sebeplerden dolayı ilgi çekicidir[2]:

- En az iki kinematik zincir ile yükün kinematik zincirler üzerine dağıtılması sağlanır.
- Eyleyici sayısı minimumdur.
- Mekanizmanın kapalı döngü kontrolü için gerekli algılayıcı sayısı minimumdur.
- Eyleyiciler kilitlendiğinde uç işlevci pozisyonunu korur, bu özellikle medikal robotlarda güvenlik açısından son derece önemlidir.

n serbestlik derecesinden oluşan bir uç işlevci ve sabit tabandan oluşan ve birbirlerine en az iki bağımsız kinematik zincir ile bağlı olan mekanizmalar paralel robot olarak adlandırılmaktadır. Zincirlerin sayısı serbestlik derecesine eşit olan paralel manipülatör tam paralel manipülatör olarak adlandırılmaktadır [2].

Paralel mekanizmaların kullanımı yüksek katıllık, yüksek hassasiyet, doğruluk, yük taşıma kapasitesi ve yüksek hız gibi avantajlarından dolayı seri mekanizmalara göre tercih edilmektedirler. Bununla beraber kısıtlı çalışma uzayı, karmaşık kinematik çözümler ve çalışma uzayı içerisindeki tekillikler bu tip mekanizmalarda karşılaşılan en önemli problemlerdir [1] [2][3]. Açık döngülü yapıya sahip olan seri mekanizmaların aksine paralel mekanizmalar kapalı döngü yapıya sahiptirler ve eyleyici hataları uca doğru eklenerek büyümektedir. Hareketli platforma birden fazla bağın bağlı olması nedeniyle kaldıracağı kütlelerin mekanik yapılarının kütlelerine oranı büyüktür. Çok hassas konumlama yapabildikleri gibi aynı hareketi tekrarlama kabiliyetleri de yüksektir. Paralel mekanizmalar dinamik yüklemenin yüksek, hız ve hassasiyetin önemli, çalışma uzayının ise daha az önemli olduğu durumlarda paralel mekanizmalar seri mekanizmalara göre tercih edilir [3].

1965 yılında uçuş simülatörü (aircraft simulator motion base) olarak D. Stewart [4] tarafından bir paralel robot önerilmiştir. Önerdiği yapı üzerinde Gough ve diğer araştırmacıların yorumları ile değişiklik yapılmış ve son halini almıştır. Stewart ve Gough'un tasarladığı mekanizmaların bugün kullanılan birçok paralel mekanizmanın temelini teşkil etmesi nedeniyle bu tür mekanizmalar bu iki tasarımcının isimleri kullanılarak adlandırılmaktadır fakat literatürde Stewart platform olarak daha fazla kullanıldığı gözlemlenmiştir. Hunt [5] 1978 yılında manipülatör olarak kullanılmasını önermiş ve avantaj-dezavantajlarından bahsetmiştir. Stewart platformunun bir robot manipülatörü olarak yapımı ve genel teorisi ile ilgili ilk önemli çalışma Fichter [6] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmasında Oregon State Üniversitesinde geçmiş yıllarda yapılan çalışmaların özeti ile birlikte kinetik, kinematik ve tekillik analizleri sunulmuştur. Fichter'in bu çalışması diğer araştırmacılar için bir temel olmuş ve pek çok araştırmacı tarafından atıf almıştır.

Günümüzde kullanılan Stewart Platform Mekanizması (SPM), 1965 yılında önerildiği [4] şekliyle biraz farklı olarak, boyları prizmatik eklemler vasıtasıyla değişebilen 6 bacak ile birbirine bağlı biri sabit ve diğeri hareketli, iki platformdan oluşmaktadır. Bacakları hareket ettiren eyleyiciler sabit ve hareketli platformlara universal, dönel, küresel veya silindirik vb. gibi eklemlerle bağlıdır. SPM genellikle eklem ve eyleyicilerin yapılarına bağlı olarak üç yönde öteleme ve üç yönde dönme hareketi yapabilecek şekilde 6 serbestlik dereceli olarak tasarlanır. Genel Stewart Platform (GSP) mekanizması kavramı ise olası tüm bağlantı çeşitleri ve serbestlik derecesine sahip Stewart platform mekanizmalarını ifade etmek için kullanılmaktadır.

GSP mekanizmaları yapısal olarak birçok şekilde sınıflandırılabilirler. En önemli sınıflamalardan biri bacaklarının sabit ve hareketli platforma bağlanma noktalarının sayısıdır. Örnek olarak, bacakların sabit platforma bağlandığı nokta sayısı n, hareketli platforma bağlandığı nokta sayısı m olan mekanizma n-m şeklinde isimlendirilmektedir. Literatürde 3-3, 6-6, 6-3 GSP mekanizmaları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Bunun dışındaki bağlantı türleri için yapılan çalışmalara daha az rastlanmaktadır. Bütün GSP türleri içerisinde kıyaslama yapılırsa, sabit ve hareketli platforma 6 noktadan bağlı olan 6-6 SPM platform yapısı en iyi katıllık (rijitlik) ve kuvvet dağılımına sahiptir. [3]

Hareketli ve sabit platformun konumları, öteleme ve yönelimleri verildiğinde bacak uzunluklarının hesaplanması işlemine ters kinematik hesaplaması denir. GSP mekanizmalarının ters kinematik çözümlerinin sadece bir doğru çözümü bulunmaktadır. Bu da endüstriyel uygulamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Hazırlanan uygulama ile tasarlanan robotun üç boyutlu katı modeli gösterilerek, robotun başlangıç konumundan istenilen konuma giderken yapacağı hareket animasyon şeklinde gösterilmiştir. Bu yazılım eğitim amacıyla kullanılabilmesi gibi endüstriyel uygulamalarda da kullanılabilmesi planlanmaktadır.

Makalenin bundan sonraki kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: ikinci bölümde, geliştirilen yazılımda kullanılan bağlantı matrisi ve grafiksel kullanıcı arabirimi, üçüncü bölümde ise bağlantı matrisi yardımıyla kinematik hesaplamasının ve görselleştirilmenin nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

2. Bağlantı Matrisi ve GSP Mekanizmasının Tasarımı

Geliştirilen uygulama iki temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi Stewart Platformunun tasarımının yapıldığı grafiksel kullanıcı arabirimidir ve Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu ekranda tasarım ile ilgili tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra bilgiler bir dosyada saklanmaktadır. İkinci aşamada ise saklanan bu dosyadaki ayarlar kullanılarak GSP mekanizmasının benzetimi yapılmaktadır.

Şekil 1’de de görülebileceği gibi GSP mekanizmasının sabit platformun bağlantı noktaları için B_i ($i=1,..,6$), hareketli platformun bağlantı noktaları için P_i ($i=1,..,6$) şeklinde isimlendirme kullanılmıştır. Her bir bağlantı noktası için konumlar üç boyutlu uzayda x,y ve z eksenleri için girilmektedir. Buradaki B_i ($i=1,..,6$) noktaları sabit platforma, P_i ($i=1,..,6$) noktaları ise hareketli platforma yerleştirilen koordinat sistemlerine göre belirlenir. Eğer platformdaki bağlantı noktalarının altı noktadan az olması planlanıyorsa ilgili değerler “rakam değil” anlamına gelen NaN olarak seçilmesi gerekmektedir. NaN (Not a Number), IEEE kayan noktalı aritmetikte rakam değil olarak tanımlanmıştır ve MATLAB ortamındaki hesaplamalarda da NaN olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla eğer bir bağlantı noktası kullanılmak istenmiyorsa bu noktanın yanındaki NaN kutucuğu (checkbox) tıklanarak x,y ve z değerlerinin tümünün NaN olması sağlanmalıdır veya klavyeden doğrudan NaN değerlerinin girilmesi beklenir. Bir noktanın x,y ve z değerlerinin tümünün NaN olmaması hesaplamalarda problem çıkarmaktadır. Genellikle sabit ve hareketli platform bir düzlem olarak seçilmektedir dolayısıyla çoğu durumda bağlantı noktalarının z eksenindeki değerleri sıfır olmaktadır.

Başlangıç konumunda hareketli platformun sabit platforma göre yaptığı öteleme ve dönme miktarları sırasıya T_x , T_y , T_z ve α , β , γ değerleri ile ifade edilir. Platformların kalınlıkları ise ayrıca belirtilebilir. Bacak boylarının limitleri ise L_{min} ve L_{max} değerlerine, eklemlerdeki elemanların limitleri ise $JointMin$ ve $jointMax$ değerlerine girilmelidir. Bu değerler robotun istenilen bir hareketi yapip yapamayacağını kontrol etmek için benzetim sırasında veya çalışma uzayını hesaplarken kullanılmaktadır.

Tasarım ekranındaki tüm noktaların, bacak uzunluklarının ve öteleme matrisini ifade eden değerlerin aynı birimde olduğu kabul edilmiştir. Örnek uygulama için verilen tüm değerlerin cm cinsinden olduğu düşünülmüştür. Eklem açılarının ise derece olarak verilmesi beklenmektedir.

Bağlantı matrisi ile ilgili değerler ise sabit platformdaki B noktalarının hareketli platformdaki hangi P noktasına bağlantı yapacağını göstermektedir. Örneğin B2 ile P5 noktası bağlanmak isteniyorsa Şekil 1’de de görülebileceği gibi bağlantı matrisindeki 2 numaralı sütunda B için 2, P için 5 olacak şekilde değerler girilir. Eğer B_1 bağlantı noktası ile P_1 bağlantı noktası kullanılmayacaksa bağlantı matrisinde ilgili yerlere NaN değerleri verilir. Bağlantı matrisi yardımıyla olası tüm Stewart platform bağlantı çeşitleri ifade edilebilmektedir.

Örnek bir Stewart platform için değerler Tablo 1’de verilmiştir. Sabit platformda ve hareketli platformda dört nokta olacak şekilde B_i ve P_i değerleri verilmiştir. Sabit ve hareketli platform birinci ve altıncı noktalar kullanılmayacağından NaN olarak ayarlanmıştır. Bu GSP mekanizmasının bağlantıları ise Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de görüleceği gibi sabit ve hareketli platformların birinci ve altıncı noktaları birleştirilmediğinden bağlantı matrisinde bu değerler NaN olarak verilmiştir. Her bir sütunda sabit ve hareketli platformlar arasındaki ilişkiler numaralar verilerek belirtilmektedir. Örneğin B3 ile P4 noktası birleştirilmesi için bağlantı matrisinin üçüncü sütununda B yerine 3, P yerine 4 yazılmıştır. Tablolarda verilen değerler yardımıyla 4-4 GSP mekanizması tasarlanmıştır.

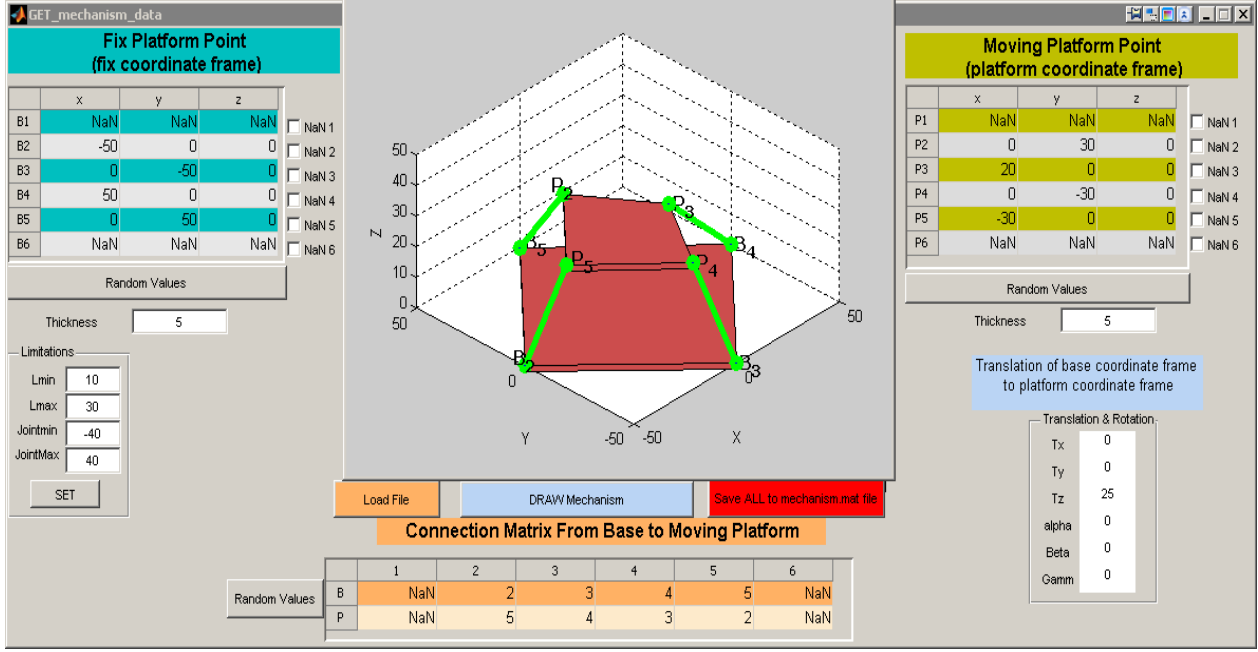
Tablo 1: Sabit ve Hareketli Platform bağlantı noktaları

	x	y	z		x	y	z
B_1	NaN	NaN	NaN	P_1	NaN	NaN	NaN
B_2	-50	0	0	P_2	0	30	0
B_3	0	-50	0	P_3	20	0	0
B_4	50	0	0	P_4	0	-30	0
B_5	0	50	0	P_5	-30	0	0
B_6	NaN	NaN	NaN	P_6	NaN	NaN	NaN

Tablo 2: Bağlantı matrisi

	1	2	3	4	5	6
B	NaN	2	3	4	5	NaN
P	NaN	5	4	3	2	NaN

Tüm veriler girildikten sonra tasarlanan Stewart platform çizdirilebilmektedir. Çizimler için MATLAB alt seviye bir komut olan patch komutu kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile önce katı modelin (örneğin hareketli platform) köşe noktaları (vertex) tanımlanır. Daha sonrada bu noktaların birleştirilmesi ile oluşacak her bir yüzey (faces) ayrı ayrı tanımlanır. Patch fonksiyonu köşe noktaları ve yüzey matrisi ile çağrılarak grafiksel arabirim (figure) içinde çizdirilmesi sağlanır.



Şekil 1: Bağlantı Matrisi ile GSP Tasarım Ekranı

Ayrıca bu komut yardımıyla herhangi bir katı modelleme programında çizilmiş bir katı modelin, STL formatında kaydedilmiş halini göstermek mümkündür. İlerideki aşamada yazılıma STL formatındaki bacak veya platformu çizebilme özelliği eklenecektir. Fakat patch komutunun kullanılmasının asıl sebebi benzetim sırasındaki animasyonun gerçekleştirilebilmesidir. Katı modelin köşe nokta ve yüzey matrislerinin değerleri değiştirilip patch komutu tekrar çağrıldığında MATLAB ekrandaki şeklin yerini eskisini silerek çizer. Bu da animasyon yaparken oldukça kullanışlıdır.

3. Benzetim

GSP mekanizmaları için iki temel kinematik problem vardır. Bunlardan birincisi ileri (forward) veya düz (direct) kinematik diğeri ise ters (inverse) kinematiktir. Ters kinematik analiz hareketli platformun konum (öteleme) ve yönelmesi bilindiğinde o konum ve yönelmeyi sağlayacak bacak boylarının uzunluklarının bulunması işlemidir. Ters kinematik probleminin tek bir çözümü vardır, aynı konum ve yönelimi verecek ikinci bir bacak uzunlukları bulunması fiziksel olarak mümkün değildir. İleri kinematik problemde ise bilinen bacak uzunluklarından, hareketli platformun olası konum ve ötelemesi hesaplanır. İleri kinematik çözümü birden fazla olabilmektedir. Bu çözümlerden bazıları kompleks düzlemde çıkmakta, bazı çözümler ise diğer çözümlerin simetrikleri olabilmektedir. Dolayısıyla bu çözümler fiziksel olarak mümkün değildir. Fakat fiziksel olarak mümkün olan çözümler de birden fazla olabileceği için platformun bir önceki konumuna göre ileri kinematik

çözümlerinden uygun olan çözüm bulunmaya çalışılır. Genellikle ileri kinematik çözüm, doğrusal olmayan denklem sistemlerine dönüşmekte dolayısıyla çözümleri oldukça zor olmakta ve çok fazla zaman almaktadırlar. Literatürde Stewart platform çeşitleri için pek çok farklı yöntem yardımıyla daha kısa sürede ileri kinematik çözümü bulabilmek için sayısal veya analitik yöntemler önerilmiştir. Fakat bu uygulamada ileri kinematik probleminin çözümleri henüz gerçekleştirilmemiştir.

GSP mekanizmalarının hareketlerinin benzetimi ters kinematik hesaplama yardımıyla yapılmıştır. Geliştirilen uygulamanın sunduğu en büyük avantaj ise yalnız bir kod parçası (çatı) yardımıyla her türlü GSP mekanizmaların ters kinematik hesaplamalarının ve görselleştirilmesinin yapılabilmesidir. Böylece olası tüm Stewart platformların benzetimi mümkün olmuştur. Geliştirilen uygulama eğitim amaçlı olarak kullanılabilmesi gibi farklı yapıdaki Stewart platformların birbirleriyle kıyaslanmasını da sağlamaktadır.

3.1. Bağlantı Matrisi ile Ters Kinematik Hesaplanması

Sabit platformun bağlantı noktaları için B_i , hareketli platformun bağlantı noktaları için P_i kendi koordinat sistemlerine göre verilir. Hareketli platformdaki eksen takımı, sabit platformdaki eksen takımına göre önce x etrafında α derece, sonra y etrafında β derece, en son olarak da z eksen etrafında γ derece dönerse, dönme matrisi R , Euler açılarından faydalanılarak $R=(R_x, R_y, R_z)$ şeklinde tanımlanır. Buradaki R_x, R_y ve R_z sırasıyla x

ekseni, y eksen ve z eksen etrafındaki dönme matrisleridir ve

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha & s\alpha \\ 0 & -s\alpha & c\alpha \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} c\beta & 0 & -s\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ s\beta & 0 & c\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} c\gamma & s\gamma & 0 \\ -s\gamma & c\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki c kısaltması cos için s ise sin için kullanılmıştır. R matrisi ise

$$R = \begin{bmatrix} c\gamma c\beta & -s\gamma c\beta & s\beta \\ s\alpha s\beta c\gamma + c\alpha s\gamma & c\alpha c\gamma - s\gamma c\beta s\alpha & -s\alpha c\beta \\ -c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma & s\beta c\alpha s\gamma + s\alpha c\gamma & c\beta c\alpha \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde elde edilmiş olur. T öteleme vektörü ise hareketli platformun koordinat sisteminin orijini ile sabit platformun koordinat sisteminin orijini arasındaki ötelemeyi verir. R dönme matrisi ve T öteleme vektörü tasarım arabirimde verilen değerlere göre uygulama yardımıyla hesaplanır. Bu dönme matrisi ve öteleme vektörü kullanılarak hareketli platformun bağlantı noktalarının sabit platformdaki koordinat sisteminin göre ifadeleri olan p_i , (5) denklemindeki gibi elde edilir.

$$p_i = RP_i + T \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (5)$$

Aynı koordinat ekseninde B_i ve p_i değerleri kullanılarak her bir bacak uzunlukları olan L_i değerleri denklem (6) 'deki gibi hesaplanır.

$$L_i = |p_{baglant(i)} - B_{baglant(i)}| \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (6)$$

Buradaki $baglant(i)$ fonksiyonu ile bağlantı matrisindeki hangi P noktası ile hangi B noktasının bağlandığının bulunması sağlanmış ve vektörel farklarının normu alınmıştır. Bağlantı matrisinin i. sütunundaki değerlere göre B_i ve P_i noktalarının bağlantıları anlaşılmaktadır. Örneğin Tablo 2'deki görüldüğü gibi 5. sütundaki bilgilere göre B_5 ile P_2 noktaları birbirine bağlanmıştır. Hesaplamalar da bu noktalar bağlantı matrisinden bulunarak yapılmıştır. Bağlantı noktalarında veya

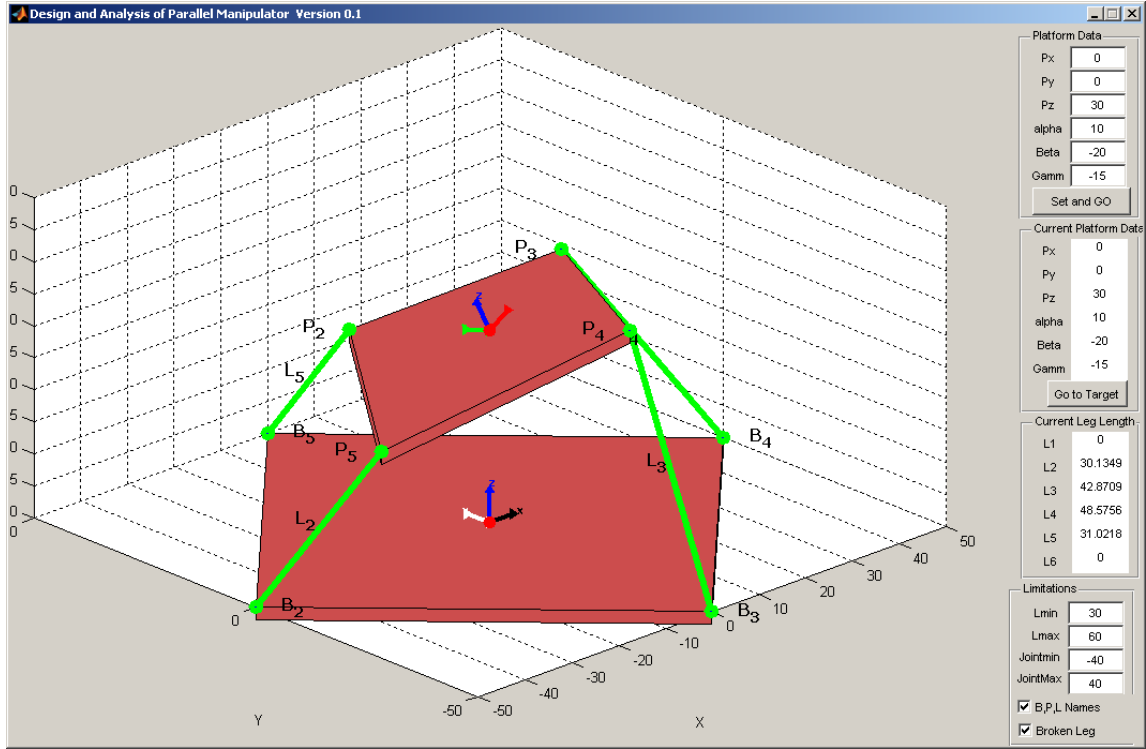
matrisinde NaN değer bulunması durumunda bu değerler için hesaplama yapılmamıştır.

3.2. Benzetim için Kullanılan Arabirim

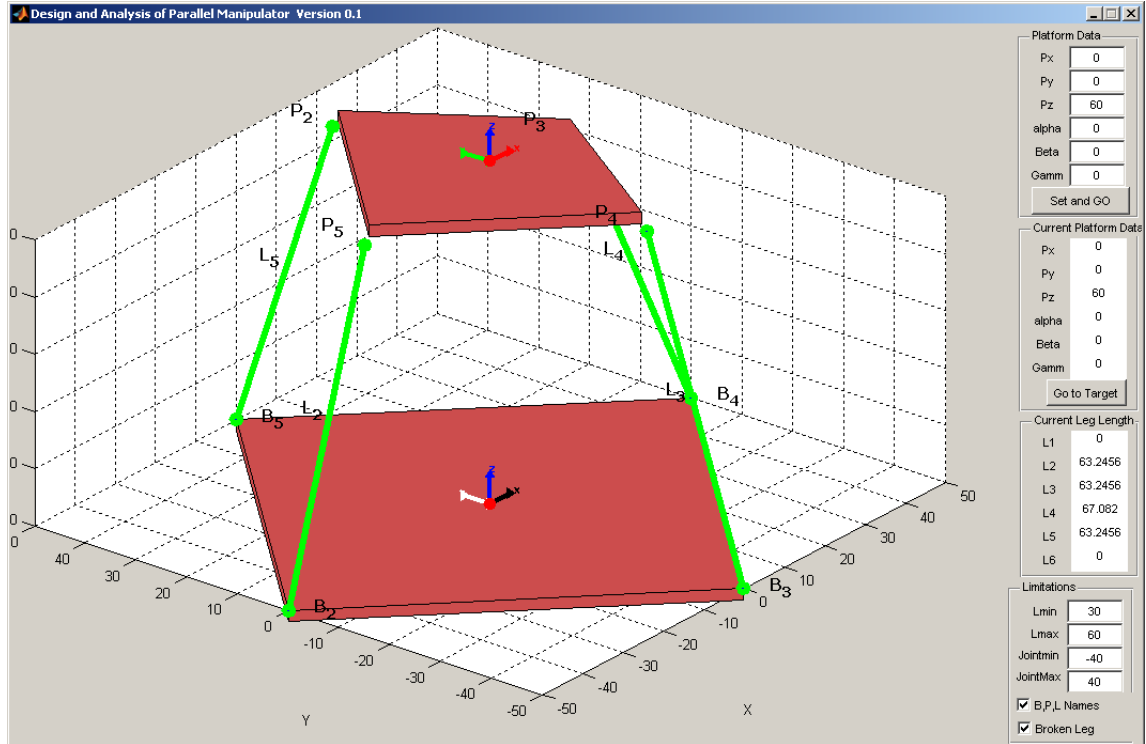
Tasarım ekranında GSP mekanizması tasarlanarak bilgiler bir dosyada kaydedilir ve benzetim ekranına geçilir. Şekil 2'de benzetim ekranı gösterilmiştir. Sağ tarafta bu GSP mekanizması ile ilgili tüm değerler verilmiştir. Hareketli platformun yaptığı öteleme ve dönme hareketini ifade etmek için sırasıyla P_x , P_y , P_z , α , β ve γ değerleri verilmiştir. Bu değerler arayüz yardımıyla girilip ilgili düğmeye tıklandığında mekanizma mevcut konumundan verilen konuma adım adım hareket ederek götürülür. Hareketin gösterilebilmesi için platformun gideceği yörünge daha önce belirlenmiş bir adım sayısına bölünür. Her bir adım için ters kinematik hesaplaması yapılır. Bu verilere kullanılarak hareketli platform ve bacaklar ekranda patch komutu yardımıyla tekrar çizdirilir. Her bir adımdaki öteleme ve dönme değerleri "Mevcut Platform Verileri" başlığı altındaki P_x , P_y , P_z , α , β ve γ yanında gösterilir. Hesaplanan bacak uzunları ise "Mevcut Bacak Uzunlukları" başlığı altında L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_5 ve L_6 şeklinde ekranda animasyon süresince güncellenerek gösterilir.

Eğer bacak uzunluklarından herhangi birisi daha önce belirtilen bacak uzunlukları limitlerinin dışına çıkarsa bu durumda platformun bacaklarında kopma meydana gelir. Bu kopmalar istenirse ekranda Şekil 3'de görüldüğü gibi gösterilebilir. Bacak kopmalarının görüntülenmesi istenmiyorsa ilgili kutucuk tıklanarak ayarlanabilir. Kutucuk işaretlendiğinde mekanizma istenilen konuma giderken kopmanın meydana gelmeden önce fiziksel olarak gidebileceği en uç noktaya kadar götürülerek bırakılır.

Bacak limitleri ve eklem açılarının limitleri kullanıcı arabirimden değiştirilerek mekanizmanın hareketleri bu değerlere göre tekrarlanabilir. Ayrıca sabit ve hareketli platformun bağlantı noktaları ile bacakların isimlendirmeleri ekranda B_i, P_i, L_i ($i=1,2,\dots,6$) şeklinde gösterilebilir. B,P,L isimlerini göster kutucuğu işaretlenerek ekranda bu isimler görüntülenir. İsimler mekanizma hareket ettiğinde uygun şekilde yerleri değiştirilerek animasyon süresince gösterilmeye devam edecektir. İsimlerin ekranda gösterilmesi ile tasarlanan mekanizmanın benzetim ekranında daha iyi gözlemlenmesi ve hareket kabiliyetinin incelenbilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2: GSP Benzetim Ekranı



Şekil 3: GSP Benzetiminde Bacakların Kopması

4. Sonuçlar

Bu çalışmada olası tüm bağlantı çeşitlerine sahip SPM'lerin tasarlanması ve benzetimi için MATLAB ortamında grafiksel kullanıcı arabirimine sahip bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım yardımıyla farklı yapıdaki SPM'lerin kinematik hesaplamaları tek bir kod parçası üzerinden yapılmıştır. Farklı yapıdaki SPM'ler katı model olarak görselleştirilmiş ve verilen yörüngede yapacağı hareket animasyon şeklinde gösterilmiştir. Böylece tasarlanacak olan her bir SPM için kinematik ve çalışma uzayı hesaplamalarının ayrı ayrı kodlar yazılarak yapılmasına gerek kalmamıştır. Bu yazılım sayesinde bağlantı noktaları ve bağlantı sayıları değiştirilerek farklı yapıdaki Stewart platformlarının birbirlerine göre avantajları incelenebilmektedir. Bu aynı zamanda bağlantı noktalarına ve bağlantı şekillerine göre farklı yapıdaki paralel robotların eniyilemesi için de uygun bir ortam sağlamaktadır. Mekanizmaların fiziksel olarak gerçekleştirebilmesi mümkün olmayan bacak kopmalarının ve eklem aırlarının limitlerinin dışına çıkılmasının da gösterilmesi sağlanmış böylece bilgisayar ortamındaki benzetim yardımıyla mekanizmaların çalışma uzaylarının ve hareket kabiliyetlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacak bir ortam sunulmuştur.

5. Kaynakça

- [1] S. Küçük, "Endüstriyel robotların modellenmesi ve çevrimdışı programlanması", Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit (2004).
- [2] J.P. Merlet, "Parallel Robots", 2nd ed., Springer, XIX, 394 p., ISBN: 978-1-4020-4132-7 (2006)
- [3] Anlı, E., Alp, H., Yurt, S. N. , zkol, İ., "Paralel Mekanizmaların Kinematiği Dinamiği ve alışma Uzayı", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi (Hava Harp Okulu), 2(1), 19-36, (2005)
- [4] D. Stewart, "A platform with six degrees of freedom," ARCHIVE: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1847-1982 (vols 1-196), vol. 180, pp. 371-386, (1965)
- [5] K.H. Hunt, "Kinematic geometry of mechanisms", Oxford University Press, USA, 1978.
- [6] E. Fichter, "A Stewart Platform- Based Manipulator: General Theory and Practical Construction," The International Journal of Robotics Research, vol. 5, pp. 157-182, (1986)