

Fleisher, David H., Luis F. Rodriguez, A. J. Both, James Cavazzoni, and K. C. Ting. 2006. Section 5.11 Advanced Life Support Systems in Space, pp. 339-354 of Chapter 5 Precision Agriculture, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Ufuk TÜRKER

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

5.11 Uzayda Gelişmiş Yaşam Destek Sistemleri

Yazarlar: D. H. Fleisher, L. F. Rodriguez, A. J. Both, J. Cavazzoni ve K. C. Ting

Çevirmen: Ufuk TÜRKER

Özet: İnsan yaşam destek sistemlerinin uzun süreli insanlı uzay görevleri için kütle, güç ve hacim bakımından sağlam, güvenilir, etkin ve kendi kendini idare edebilmesi gerekir. Bu amaçları gerçekleştirmek için Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA, The National Aeronautics and Space Administration) fizik ve kimya teknolojilerinin biyolojik sistemlerle kombine edildiği gelişmiş yaşam destek programını (ALS, Advanced Life Support) yürütür. Hidrofonik, kontrollü bir ortamda salata türü bitkileri aynı zamanda buğday, pirinç, patates ve soya gibi yüksek bitkilerin üretimini, mürettebatın beslenmesi, atmosferik oksijen ve karbondioksit geri dönüşümü, içme suyu üretimi ve atık gereksinimlerini karşılamak için yardımcı olması beklenmektedir. Başarılı Yaşam Destek Sistemleri (YDS) büyüme takip teknikleri ve karmaşık analiz metodları, bilgi ve karar destek araçlarının uygulamasını ve geliştirmesini gerektirir.

Anahtar Kelimeler: Yaşam destek sistemleri (YDS), Kontrollü çevre, Ürün üretim, Bilgi sistemleri, Modelleme, Sistem analizi.

5.11.1 Giriş

İnsan yaşamının sürdürülmesi için temel gereksinimler; hava, su, gıda ve, sonuçta, atık arıtmayı içerir. Uzay mekiği ve Uluslararası Uzay İstasyonu gibi Uzay görevleri sırasında insan yaşamını sürdürmek için kullanılan geleneksel yaşam destek sistemleri ihtiyaç duyulan bu gereksinimleri karşılamak için fizik ve kimya teknolojileri ile Dünya'dan depolanan ve/veya yeniden elde edilen kaynakları kullanır. Dünya dan daha uzak mesafe ve süreleri kapsayan uzay yolculukları planlandığında, artan lojistik ve ekonomik zorluklara bağlı olarak kaynakların saklanması ve tekrar tedarik edilebilirliği azalmaktadır. Uzayda kalıcı bir insan varlığının kurulması, yerinde kendine yeterli sürekli yenilenen hava, su ve gıda üreten, son derece güvenilir, dünyanın bağımsız yaşam destek sistemleri yeteneğine sahip olmayı gerektirir. Bu önemli sorunlar Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA) tarafından Yaşam Destek Sistemleri (YDS) programında fiziksel ve

kimyasal teknolojilerin biyolojik sistemler içinde kombine edilerek bu amaçları gerçekleştirmesi ele alınmaktadır [1].

Kapalı bir sistemde atık ürünlerden kaynakların ve besin maddelerinin geri alımı ve kazanılması için mikrop ve yüksek bitkiler gibi organizmaların kullanımı genellikle biyoregeneratif yaşam desteği (BYD) olarak adlandırılır. Bu terim, YDS sisteminin başarısının diğer yaşam desteği bileşenleri ile biyolojik sistemlerin sinerjik entegrasyonuna bağlı olduğunu ifade eder. Yüksek bitkiler, mürettebat için gıda üretmek, atmosferik karbondioksit azaltılması, oksijen üretmek, terleme yoluyla içme suyu üretmek ve hidrofonic üretim sistemleri ile bazı atıksu arıtma sağlamak için yetiştirilmektedir. Çeşitli aday bitkileri besin değerleri ve kolay yetiştirilmelerinin bir sonucu olarak YDS biyokütle üretim sistemlerinde kullanım için belirlenmiştir. Diğerlerinin yanında bu bitkiler soya, buğday, beyaz patates, tatlı patates, pirinç, yerfıstığı, domates, havuç, lahana, marul ve çileği içerir [2]. Çünkü YDS sisteminin istikrarı kimyasal ve fiziksel teknolojiler ile bitki proseslerinin tam bağlantısını, biyokütle üretim sisteminin dikkatli bir şekilde dizaynı, izlenmesi ve kontrolünü gerektirir [3]. Girdi gereksinimini en aza indirirken yenilebilir biyokütle üretimini maksimize edecek en iyi yönetim ve çevre kontrol pratiklerinin belirlenmesi amacıyla önemli bir miktarda araştırma yapılmıştır. Daha fazla araştırma çabaları gerçek zamanlı olarak bu tür sistemlerin gelecekteki işletme ve yönetimi desteklemek için teknolojiler geliştirmeye odaklanmıştır. Bunlar tahribatsız bitki büyüme ve gelişiminin izlenmesi [4,5], karar destek algoritmalarının geliştirilmesi [6], matematiksel ürün (tarım bitkisi) modelleme [7,8] ve gerçek zamanlı geri beslemeli kontrol amacıyla modelleme algoritmaları ve kontrol ile ölçme tekniği bağlantısı gibi çabaları içerir [9]. Bu gereksinim böyle küçük bir ölçekte son derece kontrollü ve izlenebilir bitki büyümesi üretimi için hassas tarımın nihai biçimi olarak görülebilir.

Gıda işleme genellikle bitkilerin yenilebilir kısımlarının mürettebatın yemeğine dönüştürülmesinde gereklidir. Atık işleme ve kaynak geri kazanımı istenilen atmosferik koşulların sürdürülmesi için bitki ve mürettebat atıklarından su ve besin maddelerinin geri kazanımını gerektirir. Mürettebat; gıda, oksijen ve su tüketimi ile ve karbondioksit, katı ve sıvı atıkların üretimi yoluyla YDS sisteminin ana bileşenini oluşturur.

YDS sisteminin bir basit sistemlere ayrımı, biyokütle üretim bileşeni (BÜB) için atık işleme ve kaynak geri kazanımı (AİKK), gıda işleme ve besleme (GİB) ve mürettebatı gibi ana altsistemleri ortaya koyar. Bahsedilen beşinci altsistem diğer dört bileşenler için bir ara birim olarak hizmet veren bir bağlantı alanıdır. NASA'nın son birkaç yılda çeşitli bilgi tabanları ve bilgi kaynakları ile sonuçlanan bu YDS bileşenlerinin her birindeki disipline özgü önemli miktarda araştırmayı finanse etmiştir. Tam entegre bir YDS tesisini düzgün dizayn etme, planlama, birleştirme, işletme ve yönetmek için en büyük zorluk, her altsistemi içinde çeşitli araştırma projeleri ve bilgi tabanları sonuçlarını belirlemek ve derlemektir ki böylece YDS

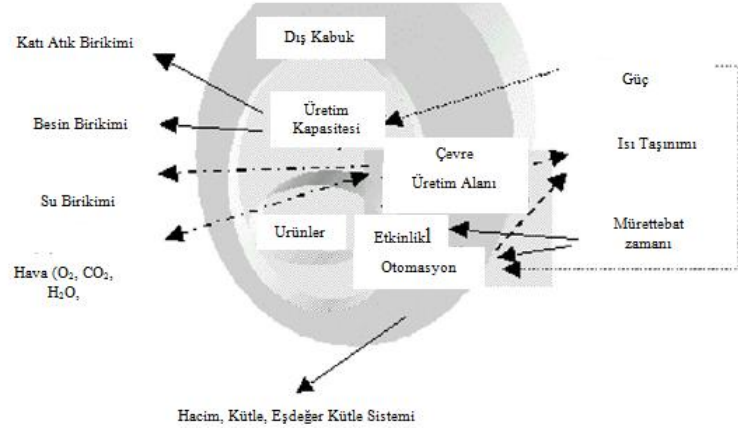
sistemini oluşturan çeşitli teknolojileri genel tasarım özelliklerine göre işleyecektir. Sistem analizini içeren teknikler; bilginin entegrasyonu, işlenmesi ve organizasyonu dahil teknikleri başarılı bir YDS sisteminin tasarımı için önemlidir.

Aslında bir YDS projesinin amacı “teknoloji yatırımlarını yönlendirmek, çözümlenmek ve rekabet gereksinimlerini entegre etmek için sistem analizi ve mühendislik yöntemleri uygulamak ve geliştirmektir” [10]. Bu, genel yaşam destek misyonu ticari çalışmaları veya simülasyonları gerçekleştirmek, mevcut ve gelecekteki araştırma çabalarını yönlendirmek, çeşitli yaşam destek görevleri için teknoloji gereksinimleri tanımlamak ve eşzamanlı bilim ve mühendislik [11], entegrasyonunu kolaylaştırmak için yöntemler geliştirmek sistem araçlarının geliştirilmesi ve detaylandırılmasını içerir. Bu bölümde bu amaca ulaşmak için tasarlanmış YDS topluluğu içinde çeşitli bilgi akışı ve sistem çalışmaları faaliyetleri anlatılmaktadır.

5.11.2 Sistem Çalışmaları ve Analizi

Sistem analizi, sistemin bütün bileşenleri ve aralarındaki bağlantıyı anlayarak, bir bütün olarak sistemin performansını incelemek için kullanılır. Bu yeni bir sistem tasarımı veya var olan bir sistemin sistem analizini gerçekleştirmek için yararlıdır. Böyle YDS sistemleri gibi yeni karmaşık sistemlerin gelişiminde sistem çalışmaları ve analiz tekniklerini kullanmak özellikle önemlidir. Analiz için hedef örneğin, bir özel durum çalışması veya bir araç geliştirme alıştırması gereksinilen bilginin tipi ve kullanılacak uygun sistem analiz prosedürlerini etkileyecektir. Amacın, örneğin analizin belirli bir YDS görev senaryosuna dayandırılmasına bağlı olup olmamasına göre (örneğin; dört mürettebat, 600 gün görev, %50 yerinde gıda üretimi, vb.) veya çeşitli YDS görev tanımlamalarını çalışmak için bir araç geliştirmek olmasına göre bir fark vardır.

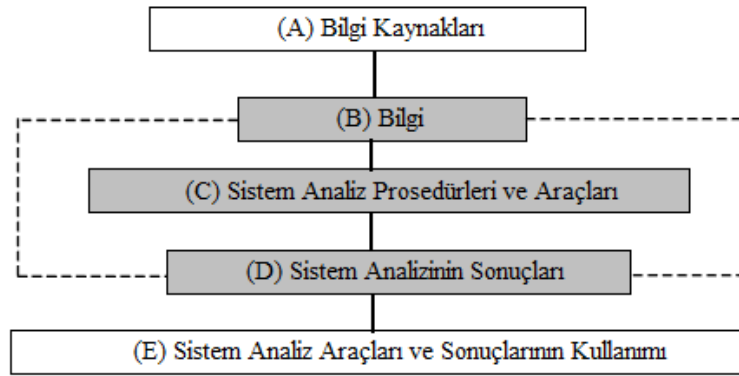
Sistem analizi ilk sistemin söz konusu alt bileşenleri veya süreçlerine ayrılması ya da ayrıştırılması ile başlar. Bu alt bileşenler arasındaki etkileşimler de belirlenmelidir. Şekil 1, BÜB için bir ayrıştırmayı göstermektedir. Farklı kontrollü çevre bölümleri, ana yaşam destek sisteminin çevre ortamından bitki türlerini ayırmak için kullanılır ki, bu kısım “dış kabuk” olarak ifade edilir. Bitkiler düzgün tasarlanmış bir üretim tesisinde yetiştirilmektedir. Bireysel bitkiler büyüdükçe, çevre ve malzeme kaynakları ile etkileşime geçer, karbondioksit, su ve besinleri tüketirken biyokütle, oksijen ve su buharı üretir.



Şekil 1. Bir YDS sisteminin BÜB'ü için bir analiz örneği. Bir BÜB'ün kritik altistemleri belirlenmiştir ve diğer YDS sistem bileşenleri ile potansiyel etkileşimi tanımlayıcı değişkenler kullanılarak tanımlanmıştır [12].

Ekipman ve makineler (otomasyon) bitki üretim ortamından toplanan görev ve bilgileri işlemek için kullanılır. İnsan ve malzeme kaynakları, yenilebilir ürünlerin zamanında dağıtılabilmesi için üretimi, hedeflenen zamanda gerçekleştirmek için yönetilir. BÜB ve tüm yaşam destek sistemi arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterildiği gibi tanımlayıcı değişkenlerin kullanımı ile izlenebilir.

Analiz edilecek objektif ve sistem tanımlandıktan sonra, sistem analizinin beş temel hususu dikkate alınmalıdır (Şekil 2). Mevcut bilgi kaynakları (A), tip, şekil ve bu bilgi organizasyonu ile birlikte tanımlanmalıdır (B).



Şekil 2. Sistem analizinin gerekli husuları [13]. Madde B, C, ve D sistem analizinin çoğunluk odaklarıdır.

Örneğin, bu bilgiler nicel veya nitel bilgiler mi? Hakemli dergilerde veya konferans kitaplarında mevcut mu, ya da merkezi bir veri veya bilgi tabanında toplanmış mıdır?

Prosedür ve araçlar (C) inceleme altındaki sistemin davranışını belirlemek ve anlamak için ve de ilgili bilgilerin işlenmesi için gerekli olan matematiksel modelleri, algoritmaları ve diğer cihazların geliştirilmesini ima eder. Bu tipik olarak

çalışmanın amacına bağlı bir kaç adımı içerir. Sistemin değişkenleri veya anahtar tanımlayıcıları sisteminin performansını izlemek veya ölçmek için bir yöntem sağlayıcı olarak belirlenmiştir. YDS için bir sistem analizi; kütle, güç, hacim, mürettebat zamanı, yenilebilir biyokütle, katı atık depolama ve atmosferik oksijen ve karbondioksit konsantrasyonuna yönelik çalışmayı içerebilir (Şekil 1). Bu tanımlayıcılar arasındaki ilişkiler, mekaniksel veya ampirik bağıntılar, mantıksal ya da ilişkisel algoritmalar veya dönüşüm faktörleri kullanılarak kurulur. Daha sonra, sistem performans göstergelerini atamak gelir. Seçilen göstergelerin türü çalışmanın amacına bağlıdır, ancak genellikle, sistem davranışını izlemek, araştırmada veya bilgi tabanlarındaki fazlalığı göstermek veya özel görev senaryoları için sistemi optimize etmek için belirlenir.

Bir model o tüm tanımlayıcılar ve performans göstergeleri arasındaki etkileşimler de dahil olmak üzere, sistemi temsilen geliştirilmiştir. Matematiksel modelleme, YDS sistemlerinin analizi ve ilgili araştırmalar için araçlar geliştirmeye yönelik temel yöntemlerden biridir ve YDS topluluğu içinde aktif bir araştırma alanıdır. Bu modelleme geniş bir üst düzey (daha genelleştirilmiş) yaklaşım ya da aşağıdan yukarıya (daha ayrıntılı) işlem düzeyinde bir yaklaşım olarak kategorize edilebilir. Modelleme çalışmaları BÜB için YDS topluluğu içinde hem belirli ürünler (işlem düzeyinde yaklaşımlarla) hem de BÜB altsistemi (üst düzey yaklaşımlarla) üzerinde odaklanmıştır. Çabalar tüm YDS sistemi için, diğer altsistemlerin modellenmesi ve bunların bir üst düzey modele entegrasyonuna adanmıştır.

Son olarak, her model fizik ilkeleri veya kanunlarıyla, gerçek dünya verileri ile, sonuçların alan uzmanları tarafından yorumlanmasıyla, vb., doğrulanır ve onaylanır. Simülasyonlar sonra doğrulanan modeller kullanılarak yapılır. Analiz sonuçları (D Şekil 2'de) istenen amacı, optimizasyon yöntemlerini, kaynak gereksinimlerini, ekonomik uygunluğu yerine getirmede sistemin çalışabilirlik ve güvenilirliğinin değerlendirmesini kapsayabilir ve gereksinilen ek araştırma alanlarını gösterebilir. Örneğin, BÜB ele alındığında, ilgi iş (mürettebat süresi) ve güç gereksinimini en aza indirmek için üretim tesisinin optimum düzenini belirlemek olabilir.

Son adım (E) analiz sonuçlarını yaymak ve/veya nasıl kullanılacağını belirlemek için gereklidir. Eğer C ve D adımlarının bir sonucu olarak bu tür karar destek sistemleri veya bilgisayarlı yazılım araçları gibi sistem analizi araçları verilmişse, bunlar gelecekteki sistemlerin tasarım kalitesini artırmak için kullanılmalıdır. Sistem analizi tekniklerinin uygulanması ile gelecekteki araştırma ve geliştirme çabalarına daha sistematik yaklaşılabilmesi için yeni bilgilerin gerektiği konu alanları belirlenmiş olur. Böylece, sistem analizinin temel yönlerinin, aynı proje için optimum sistem tasarımı belirlenene kadar, bir kaç kez tekrarlanması gerekebilir. Sonuç olarak, analiz araçları ve sonuçlarının kullanımı, dolayısıyla, sistem tasarımının ve sistem analizi sonuçlarının kalitesinin artması, yeni analiz yöntemleri ve araçlarının dahil edildiği yeni bilgi kaynaklarına yol açacaktır.

5.11.3 YDS Sistemleri İçin Bilgi ve Anlama Kaynakları

Sistem analizi ve entegrasyon amaçlarından birisi de bilgileri daha kullanılabilir, kullanışlı ve erişilebilir hale getirmenin yollarını bulmaktır. Çünkü analiz sonuçları ancak bilgi kaynağının doğruluğu kadar doğrudur (Şekil 2’de madde A) ve mevcut bilginin çeşidi (B), bilgi kaynaklarını etkili tanımlama ve bilgi tabanları kritik öneme sahiptir. Ancak, bilgi tabanları farklı spesifik disiplin odaklı araştırma alanlarından ilişkisiz formlar olma eğilimindedir. Genellikle, ayrı bileşenler hakkında parçalı bilgi formları boldur ama parçalar arasındaki iç ilişkiler hakkında bilgi eksiktir [14]. Bu özellikle bilginin kişisel ve kamu iletişimi, eğitim programları, toplantılar, literatür ve diğer etkinlikler aracılığıyla YDS topluluğuna dağıtıldığı araştırmalar için doğrudur. Çünkü bu bilgi alışverişi genellikle belirli akademik disiplinlerin sınırları içinde yer alır, aynı YDS ilgisi (örneğin, BÜB araştırmaları konularında çalışsalar dahi mühendisler, mikrobiyologlar ve bitki fizyolojistleri farklı dergilerde yayın yaparlar) içinde bile kopukluk olması bilgi tabanları için oldukça yaygındır.

Yöntemler verilerin manipüle edilmesi ya da yeniden yapılandırılması, bu nedenle analizi kolaylaştırmak için gereklidir. Bunlar, gerekli bilgi tabanları arasındaki ilişkileri tanımlamak veya ortak parametrelerin birleştirilmiş gösterimi, gerekli bilgi tabanları arasındaki ilişkileri tanımlama veya oluşturmayı içerir, böylece modularize ayrı bilgi tabanları büyük bilgi tabanları için uyumlu yapı taşları oluşabilir ve tüm sisteme optimizasyon teknikleri uygulanır [15]. Buna ek olarak, fizikokimya ile biyolojik süreçleri bütünleştiren kompleks, çok disiplinli sistemlerde bilgi kaynaklarının sürekli değişkenliği ve belirsiz veri içermesi ilave zorluklar sunar.

Bu sorunları ele almak için, YDS programı dahilinde SIMA grubu (Sistem entegrasyonu, modelleme ve analiz) olarak adlandırılan bir sistem araştırmacısı grup, bilgi tabanlarının organizasyonu ve sistem analizi araçlarının geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır. Bu çaba tüm YDS sistemi analizlerinde kullanılacak varsayımları belgeleyerek çeşitli disiplinlere ayrılmış bilgi tabanlarına entegrasyonunu desteklemek içindir. Merkezi sistemler düzeyinde bilgilere ek olarak, SIMA da mümkün olan misyon hedefleri ve teknoloji gereksinimlerinin bir listesini sunmak için belgeler hazırlamışlardır.

YDS Referans Görev Belgesi görev detaylarını sağlar ve Uluslararası Uzay İstasyonu ve potansiyel gelecekteki Mars [16] görevleri dahil dört farklı görev senaryosu için gerçekçi teknoloji seçeneklerini tanımlar. Bu bilgi dökümanlarda açıklanmış görev amaçlarının desteklenmesinde tüm YDS araştırmalarının entegrasyonunu ele alan anlamlı sistemler düzeyinde analizleri desteklemek için kullanılır. Belge her görev için gerekli bileşenleri ve altsistemleri ele almaktadır. Mevcut teknolojilerin bazısı ve birim işlemleri (biyolojik, fiziksel, kimyasal, ve gelecek Mars misyonları için) tartışılmıştır.

Kütle akış belirlenmesi yoluyla çeşitli teknolojileri ve altsistemleri entegre eden diyagramlar verilmiştir. Böylece, döküman sistem araştırmacılarının spesifik

teknolojileri belirlemesini sağlar ve farklı görevler için fonksiyonel YDS sistemine entegre edilmesi gerekli altsistemler sistem analizinin temel yönlerini yapabilecek kısaltılmış başlangıç sistemi olarak hizmet eder.

YDS Gereksinimleri Belge ve Tasarım konuları [17] istenen performans gereksinimleri ve farklı altsistemlerin tasarımı konularını içermektedir. YDS işlevselliği; çevre kontrolü, acil müdahale, kaynak malzemeleri, atık yönetimi ve ekstra araç faaliyetleri için destek de dahil olmak üzere çeşitli alanlara ayrıştırılır. Belge doğrudan araştırma çabalarına yardımcı olabilecek bu işlemleri yerine getirmek üzere nicel gereksinimleri listeler. Örneğin; mürettebat beslenme ihtiyaçları, atmosferik basınç, gaz bileşimi ve su ihtiyaçları gibi hayat destek gereksinimleri ve biyokütle üretim sistemleri için tüm tasarım kuralları belirtilmiştir.

Taban Değerler ve Varsayımlar Belgesi [2] veya *TDVB*, genel teknoloji süreçleri ve alt gereksinimleri hakkında daha fazla nicel bilgiyi sağlar. TDVB tüm YDS araştırma alanlarından toplanan verilerden modellemeciler ve sistem analistleri tarafından kullanılan ortak bir veritabanı veya paylaşılan bir bilgi kaynağıdır. Bu bilgiler çeşitli disiplinlerde araştırmacılar tarafından kullanılabilir şekilde paylaşılan bir bilgi kümesine çeşitli YDS veri tabanının entegrasyonuna başlamak için tasarlanmıştır. Bu üst düzey süreç belirlemesi için bir dizi veri sağlar. Örneğin, bitki büyümesi için BVAD her bir YDS aday ürünü için rapor edilen ortalama ve maksimum büyüme oranları üzerine hasat indeksi ve nominal ve optimum büyüme koşulları bilgileri listeler. Çeşitli atık işleme ünitesi işlemleri için, malzeme giriş ve çıkışların akış oranları tanımlanmış ve güç, kütle ve hacim gibi kaynak gereksinimleri temin edilmiştir.

SIMA bir YDS ekipman veri tabanını da geliştirmektedir [18]. Bu veritabanının amacı YDS ekipman bilgisinin birleşik ve tutarlı bir kaynak olmasıdır. Bu tür bilgiler daha sonraki analizler için YDS ekipman boyutlandırılması için kullanılabilir. SIMA tek bir veri kaynağı sağlayarak birkaç amacı başarmayı umar, bunlar: (1) tekrarlanan zaman alıcı veri aramalarını en aza indirmek, (2) elektronik formatın avantajından yararlanarak veri aktarım hatalarını en aza indirmek, (3) analizlere, dikkatli gözden geçirilen veri ve tutarlı belgelenen bir kaynak sağlayarak daha fazla güvenilirlik eklemek, (4) bir sistem içine verilen bir teknolojiyi dahil etmek için gerekli sistem tasarım varsayımları anlayışı geliştirmek ve (5) teknoloji performansı konusunda bilgi elde etmek ve gerçekleştiren benzeri amaçlar için teknolojiler arasındaki ayırt edici faktörleri belirlemektir.

5.11.4 YDS Sistemleri için Sistem Analiz ve Entegrasyon Örnekleri

Bu kısımda, genel olarak BÜB ve YDS sistemlerine uygulanan sistem analizi çalışmalarının birçok örnekleri açıklanmıştır.

ACESYS

Şekil 2’de gösterilen yapıyı takiben, çoğu sistem analiz çabaları B, E tarafından tahrik edilen D ve A tarafından önemli ölçüde etkilendiği anlayışı ile B, C, ve D maddelerine yoğunlaşmıştır .

Çoğu durumda, yararlı B ve D’yi belirleme büyük bir rekabettir. A’da elde edilen bu bilgi doğrudan C için kolayca kullanılabilir olmayabilir. E’nin ihtiyaçları D’yi tamamen açıklamak için yeterince nakledilmemiş olabilir. Önemli miktarda bir çaba B ve D için uygulanabilir formatlara ulaşmak için gerekli olabilir. Son olarak, B’den D’ye mümkün olduğunca sorunsuz nasıl gidileceği sorusu kalır.

YDS sistemleri çalışmaları ve genel sistem analizi ve entegrasyonunu kolaylaştırmak için YDS sistem analizinin gerekli tüm yönlerini içeren bir merkezi platform sağlamak niyetiyle etkileşimli bir web sitesi geliştirildi (Şekil 3). ACESYS platformu; bilgi toplama, işleme, analiz ve sunumunu kolaylaştırmak ve otomatikleştirmek için geliştirilen entegre bir otomasyon kültür çevre (OKÇ) analiz sistemini temsil eder [19]. Amaç YDS topluluğu içinde eşzamanlı bilim iletişimi yetenekleri kurmak ve internet siber ortamını kullanarak katma değerli bilgi işleme metodolojileri ve araçları geliştirmektir. Anahtar Bileşenler:

- araştırma projesi bilgisi için bir giriş mekanizması,
- disiplin odaklı bilgi depolamak için bir veri tabanı kümesi,
- veri sunumu için bir ekran kapasitesi,
- bir çevrimiçi tartışma forumu ve
- bilgi işleme için JAVA uygulamaları ve yazılım programları.



Şekil 3. New Jersey NSCORT (NASA özel araştırma ve eğitim merkezi) için bioregenerative yaşam destek sistemlerinin geliştirilmesi için beş yıllık bir araştırma projesinde geliştirilen ACESYS üye web sitesi. Sol sütunda ilgili duyurular, araştırmalar için çeşitli seçenekler, proje raporları, tartışma konuları, yazılım uygulamaları ve bilgilendirici veritabanı erişimi mevcuttur.

Bilgi Akış Analizi

NJ-NSCORT projesi sırasında geliştirilen bilgi teknolojisinde diğer bir yeni yaklaşım YDS proje yönetimi tarafından tüm YDS araştırma ihtiyaçlarını kaplayacak şekilde uygun araştırma projelerinin seçimini sağlamak için kullanılabilir yeni bir modelleme aracını içerir. Rodriguez [20] tarafından geliştirilen bilgi akış analizi (IFA) bir JAVA uygulamasının çeşitli araştırma projelerine kategorize edilmiş dört karar verme ölçütüne göre oluşur, bunlar: Tamlik, işlevsellik, bütünleştirilebilirlik ve kapsayıcılık/fazlalık.

Proje araştırmacıları ve YDS yönetimi IFA web sitesi aracılığıyla, mevcut ve önerilen araştırma projeleri ile ilgili bilgileri girmeleri mümkün olacaktır ve daha sonra örneğin karar ölçümlerine dayanarak projelerin nasıl etkileştiği gibi bilgileri alabileceklerdir. *Tamlık* onun öngörülen zaman çizelgesi boyunca bir projenin ilerlemesini açıklar. *İşlevsellik* YDS sisteminin genel amaçları ve gereksinimleri ile ilgili bir projenin yararlılığını açıklar. *Bütünleştirilebilirlik* bir proje için diğer NASA projeleri ile olan potansiyel etkileşimi gösterir. *Kapsamlılık/fazlalık*, bir projenin NASA'nın geniş YDS sistemlerinin hedeflerini ne kadar iyi karşıladığını rakamlarla ve herhangi bir gereksinimi veya hedefi karşılayan benzer proje fazlalıklarına sahip olmayı ifade eder.

Bu bilgi ile donatılmış olarak, NASA yönetimi gelecekteki araştırma ihtiyaçlarını grafiğe dökme ve mevcut araştırmanın kalitesini değerlendirebilir. Proje tekliflerini hazırlayan araştırmacılar, YDS ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tekliflerini belirlemelidir. Rodriguez [20] halihazırda karar aşamalarıyla ilgili bir kavram ispatını sunmuş olmasına rağmen (böyle bir karar destek aracının, karşılaması gereken uygun soruları belirleyerek), YDS araştırma veya diğer sistem analizi alanları için yönetim kararında yardımcı olmak amacıyla son derece yararlı bir araç geliştirmek için çabalar artmıştır.

Süreç Seviye Modelleri

Süreç seviyesi ürün modelleri BÜB altsistem analizi için kullanılmıştır. Bu tür modeller (aynı zamanda açıklayıcı ya da mekanik modeller olarak ifade edilir) bitki süreçlerini ayrı ayrı olarak hesaplar ve daha sonra bunları bitkinin günlük büyüme ve gelişimini belirlemek için birleştirir (örneğin kaynak 21'e bakılabilir). Bitki süreçleri vejetatif üreme ve gelişme, fotosentez, transpirasyon, büyüme ve bakım, solunum, yaprak alanı büyümesi, vejetatif bölümlenme, birincil ve ikincil üreme, büyüme ve benzerlerini içerebilir. YDS topluluğu içinde bir yaklaşım, YDS bitkisel üretim analizi ve optimizasyonunda kullanılmak için mevcut modellerin alan sürümlerini değiştirmek olmuştur, örneğin kaynaklar [7,8].

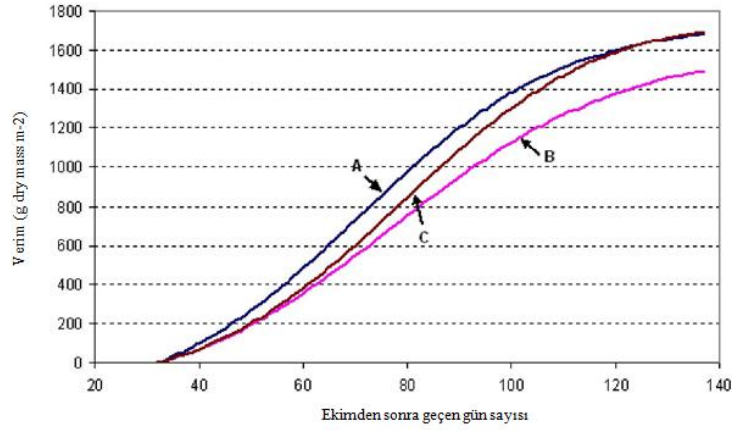
YDS uygulamaları için detaylı ürün modelleme çabalarının kullanılabilirliğinin bir spesifik örneği *faz kontrolüdür* ki bu, bir ürün yaşam döngüsü boyunca bir dizi farklı çevre koşullarının özelliklerini, verimliliğin bazı yönlerini optimize etme amacı ile yapılır [22]. YDS topluluğu içinde bir odaklanma, bitki yaşam döngüsü süresi içinde

ortalama yenilebilir verimi maksimize etmektir. (örneğin yenilebilir kütlenin $m^{-2} \text{ gün}^{-1}$ başına gram olarak maksimize edilmesi). Bu birimler, bitkilerin başarıyla art arda dikilip ve hasat edildiği YDS uygulamaları için kullanışlıdır. Süreç düzeyinde modelleri kullanarak yapılan simülasyon çalışmaları bu gibi uygulamalarda araştırma çabalarına odaklanma için idealdir.

Bu bölümün amaçları için düşünülebilecek işlem seviye modelleri kapsamında basitten karmaşığa bir doğal sınıflanma vardır. YDS topluluğu içinde kullanım bulan basit bir ürün model örneği *enerji kademeli modeldir* [23]. Başlangıçta buğday için geliştirilen bu model, farklı aşamaları takip ederek günlük bitki büyüme oranlarını hesaplar. Bu aşamalar; bitki örtüsünün her yeri kaplamaya başlamasıyla, bitki örtüsü ışık emiliminde doğrusal bir artış, bitki örtüsü her yeri kapladıktan sonra, sabit bir (maksimum) ışık emilimi, olgunlaşmanın başlaması ile sabit bir bitki örtüsünün fotosentetik etkinliği, sonra ürün olgunlaşmaya kadar doğrusal olarak azalan fotosentetik etkinliği ve sabit bir solunum etkinliğidir. Bu temel model birçok YDS aday ürünleri için basitleştirilmiş modeller üretmek için daha ayrıntılı süreç düzeyinde ürün modellerinin özellikleri ile birleştirilmesinden oluşmuştur [24]. Bu modeller daha detaylı modellerin bazı işlevlerini hala sürdürür, ama sadeleştirme onları daha kolay YDS sistem düzeyindeki analizlere dahil olmasını sağlar.

Hatta bazı uygulamalar için ürün modellerinin süreç seviyesini daha da azaltmak kullanışlı olabilir. Örneğin, mevcut veri ve ürün model tahminleri günlük beyaz patates, buğday ve soyanın çevreye bağlı olarak büyüme ve gelişimini simüle etmek için yarı amprik ilişkiler ile oluşturmak için kullanılmaktadır. (örneğin, ışık integral, hava karbondioksit konsantrasyonu ve hava sıcaklığı) [6]. Bu modeller daha sonra her 24 saatlik periyotta çevresel bir dizi optimal değerleri belirlemek için kullanılabilir. Öngörülü kontrol mantığı bir model tabanına entegre edilmiştir. BÜB de planlanan üretim programında sistem bozukluklarını telafi etmek için yapılacak girişimlerin yararlı olmasına yönelik kontrol mantığı Visual Basic bilgisayar platformuna dahil edildi ve simülasyonlarıyla gösterilmiştir.

Bu yaklaşımın bir güç örneği olarak, Şekil 4, bir beyaz patates bitkisinin yumru gelişiminin aşamalarını göstermektedir.



Şekil 4. BÜB için patates büyümesinin model-tabanlı kontrolüne dayalı sistem analizi uygulaması.

Üç eğri temsili: (A) nominal yumru büyüme, (B) ışık yoğunluğundaki değişikliği takip eden bir büyüme, ve (C) kontrol sonrası yumru büyümesi.

Üretimin 15. gününde ortaya çıkan ve 20 gün devam eden istenen ışık yoğunluğunda %30'luk bir simüle edilmiş azalma meydana gelir. A eğrisi bir bozukluk olmadan büyüme eğrisi tahmin modelini gösterir. C eğrisi kontrol mantığı bu rahatsızlık sonrası hava sıcaklığı, atmosferik karbondioksit konsantrasyonu ve ışık yoğunluğunu ayarlamak için kullanılan büyüme eğrisi üzerindeki sonuçlarını gösterir iken, Eğri B bozuklukların düzeltilmediği tahmin sonuçlarını gösterir. Bu örnekte, ürün olgunluğunda A ve C eğrileri arasında %5'den daha az sapma oldu. Buna ek olarak, nominal ve nominal olmayan koşulları simüle etmek için kullanılan bu gibi modeller başarısızlık analizleri için "ne olursa?" simülasyon çalışmaları için özellikle yararlıdır. Sistem çalışmalarına dahil olduğunda, hatta basit ürün modelleri daha detaylı modelleme çalışmaları ve/veya özel deneyler aracılığıyla ele alınması gereken konuları belirleyebilir.

Üst Düzey Modeller

En üst düzey modelleme yaklaşımı genelde çoklu altsistemler, bileşenleri ve etkileşimleri içerir. Bu yaklaşımda daha az detaya yer verilirken süreçler arasındaki arayüze yoğunlaşılır. YDS sistemleri için, çeşitli üst düzey modelleri inşa edilmiştir. Burada genel yaklaşım, sistemi ana alt sistemlere ayırmaktır. Bu alt sistemler; (1) biyokütle üretim bileşeni (BÜB), (2) atık işleme ve kaynak geri kazanımı (AİKK), (3) gıda işleme ve besleme (GİB), (4) mürettebat ve (5) arayüz altbirimleridir. Diğer üst düzey yaklaşımlar özellikle altsistemlerin performans özelliklerini tanımlamaya odaklanmak olabilir. Örneğin, Goudarzi ve Both [25] uzay görevleri sırasında mürettebat performansını tahmin etmek için bir yöntem geliştirmişlerdir ve bu yöntemi mürettebat zamanı ile ilgili maliyetlerin tahmini için kullanılan bir teknik içine yerleştirmişlerdir.

Altsistemlere odaklanan YDS sisteminin bir üst düzey modeli Rodriguez [26] tarafından geliştirilmiştir. Bu model Hsiang [27] tarafından geliştirilen bir GİB modeli ve Fleisher ve ark. [12] tarafından geliştirilen bir BÜB modeli de dahil olmak üzere birçok alt modelleme projeleri tarafından desteklenmiştir. Üst düzey model içerisine yerleştirmek amacıyla mürettebat [28, 29], AİKK [30] ve sistem arayüzler için ayrı modeller geliştirilmiştir.

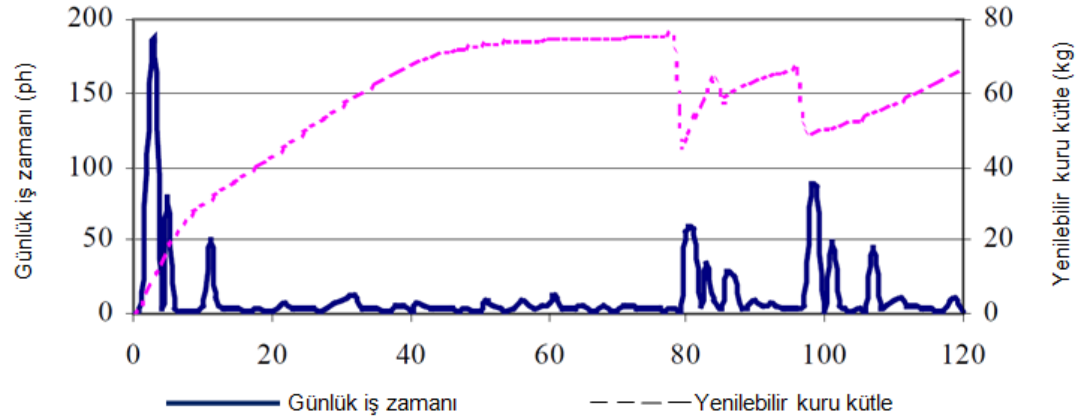
Destekleyici bilgilerin geri uçtaki bir veritabanı da bu model için özel olarak geliştirilmiştir. Bu geniş bir dizi YDS senaryolarını simüle edebilmek için esneklik sağlar. Bu veri tabanı, bir YDS sistemine dahil edilebilir tüm farklı bileşenler hakkında bilgi depolamak için tasarlanmıştır. Model kullanıcının bir simülasyonda hangi parçaları dahil edileceğini seçmesine izin verecek şekilde dizayn edilmiştir. Örneğin bir ürün veritabanı, YDS'ye aday bitkilerin ve bitkilerin büyüebileceği farklı tipteki büyüme odaların tarifi için geliştirilmiştir. Bu büyüme alanının ve verilen kısıtlamalar altında bitki karışımının analizine olanak tanımaktadır. Benzer bir şekilde bu model veri tabanı ve aynı zamanda diğer altsistemlerde değişiklik için kullanılabilir. Analizleri yaparken biyokütle üretim altsistemlerine ilave olarak kullanıcılar; model içerisinde farklı mürettebat kombinasyonlarından, farklı katı atık arıtma sistemlerinden, farklı hava tazeleme sistemlerinden, farklı atıksu arıtma sistemlerinden, farklı yemek ve mutfak ekipmanından uygun gördüklerini seçebilir. Bu esneklik dikkate alındığında, geri uçtaki veri tabanı, kullanıcıların kendi YDS sistemi çalışmaları için parça seçmeye gidebilecekleri bir "YDS deposu" olarak adlandırılmıştır. Bu dinamik üst düzey YGS sistemi modelinin geliştirilmesi, sistem bileşenleri ve tamponların boyutlandırılması gibi tasarım konularının analizini sağlar.

Bu altsistem bütünleşmesinin mümkün olduğu kadar kesintisiz olmasını sağlamak içindir. Sistemin doğasındaki dinamik özelliklerini model yakaladığı için ortalama taleplerden ziyade en üst taleplere göre bileşenler ölçülendirilebilir. Simülasyon senaryolarını değiştirerek de böylece sistemin genel boyutunu azaltarak, en üst talepleri düşürmek için yeni yollar bulmak mümkün olabilir.

Örneğin Şekil 5, günlük mürettebat zamanı (sol y eksen) ve BÜB'de üretilen yenilebilir biyokütle üretimi (sağ y eksen) için simüle edilmiş sonuçları göstermektedir. Görev süresi x eksen üzerinde verilmiştir. Bu senaryoda, her ürün için BÜB üretim alanları oluşturulmuştur, bu alan soya için 42,51 m², buğday için 25,63 m², beyaz patates ve tatlı patatesin her biri için 5,73 m², ve her salata ürünü için (marul, ıspanak ve domates) 2,87 m²'dir. Her ürünün ekiminin hangi şekilde planlandığı yetiştiricilikle ilgili görevler için mürettebat zaman gereksinimlerini etkileyecektir. En basit durum Şekil 5'te olduğu gibi aynı günde ekilmiş tüm ürünler için çakışmayacak şekilde düzenlenmiş dikim programıdır. Bütün bitkilerin aynı zamanda ekilmesine bağlı olarak simülasyonun ilk birkaç günü sırasında mürettebat zamanı için büyük bir gereksinim ortaya çıkar. Bu noktadan sonra mürettebatın zaman için gereksinimleri 79'uncu günde buğdayın hasadına kadar düşük kalır. Hasat etkileri bitki büyüme sistemi içinde yenilebilir kuru kütlede ani bir düşüş

olarak görülebilir (yenilebilir kütle hasat sırasında BÜB'ten gıda işleme bileşenlerine taşınır). Yeni buğday bitkisi ertesi gün dikilir. 85'inci günde bir domates hasadıyla birlikte, yemeklik kuru kütlede düşüş kaydedilebilir. Bu ancak, domates ürününün bağıl üretim alanının buğday ile karşılaştırıldığında küçük olması, mürettebat zaman gereksinimlerinde farkedilebilir bir artış yaratmaz. Soya hasadı 97'inci günde soya bitkisinin büyük boyutu nedeniyle mürettebat zamanında bir zirveye ulaştığı kaydedilebilir.

Genel olarak, çakışmayan bir dikim programı sözkonusu olduğu zamanlarda nispeten düşük mürettebat iş gereksinimleri varken mürettebat zamanında büyük zirveler hasat ve ekim tarihleri ile örtüşmektedir.



Şekil 5. Üst düzey YDS modeli ile simüle edilmiş buğday ekiminin besin ve su depolama koşullarına etkisi. Model ürünün gelişim dönemleri arasında ayırım yapmaz; böylece, yemeklik kuru üretime bir üretim döngüsü boyunca ulaşılır.

Bu senaryo hayat destek sistemi yönetiminde ani mürettebat zaman gereksinimi gibi çıkabilecek sorunlar, diğer YDS bileşenlerinde mürettebatın görevleri tamamlaması yeteneğini etkileyebilir. Gereksinim duyulan yenilebilir biyokütle miktarı oluşturulurken en yüksek noktalar düzeltilebilir diye farklı zamanlama yaklaşımları ancak BÜB için üst düzey YDS modeli kullanarak simüle edilebilir.

Benzer çabalar diğer araştırmacılar tarafından da geliştirilmiştir. Drysdale ve ark. [31] bir Mars görevi için yerinde kaynak kullanımında ve fizikokimyasal rejenerasyon, biyorejenerasyon, tekrar sağlama gibi hayat destek teknolojilerinin farklı kombinasyonlarını ve rejeneratif yaşam destek teknolojisini kullanarak verimliliğin görev süresi ile birlikte arttığını belirlemişlerdir. Bu yönde tamamlayıcı bir çalışma Levri ve Vaccari tarafından yürütülmüştür [32]. Modelleri beş bileşenden oluşmuştur, bunlar: gıda ve mürettebat, ürün, hava, katı atık ve sudur. Kütle akış, hacim, mürettebat zaman gereksinimleri, güç ve soğutma ihtiyaçları dinamik olarak 40 günlük ay görevi karşısında 100 günlük Mars misyonu gibi farklı hedeflerin görevleri için en yüksek ve en yüksek olmayan zamanlardaki taleplerin belirlenmesi

için simüle edilmiştir. Wu ve Garibay [33] enerji, su, gıda ve hava hareket/kullanımını çalışmak için bir yaşam destek sistemi simülatörü geliştirmiştir. Dört temel bileşen mürettebat, ürünler, hava ve su geri kazanımını içerecek şekilde simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, öncelikle istasyon boyunca enerji ve kaynak akışını yönetmek için kontrol stratejileri performansını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmaları, karmaşık yaşamda destek teknolojileri için potansiyel kontrol algoritmalarının tasarım ve testinde sistemleri inceleme ve analizleri için başka bir kullanımın yolunu göstermiştir.

Wheeler [34] mürettebat, biyokütle üretimi ve atık geri dönüşümü için gıda, karbondioksit ve oksijen akışı gibi bileşenler dahil basit bir metabolik model geliştirmiştir. Model sistem kapanmasını (kütle açısından) sürdürmenin hedefleri ile yenmeyen bitki biyokütlesinin işlenmesi için farklı stratejileri değerlendirmek ve yaşam destek sistemi, karbondioksit ve oksijen dengesini optimize etmek için kullanılmıştır. Çalışma da uygun atık arıtma stratejilerinin istenen sistem kapatma derecesine bağlı olarak değiştiği sonucuna varılmıştır.

5.11.5 Sonuç

Gelişmiş yaşam destek sistemleri (YDS) düzgün entegre edildiğinde, uzun süreli insanlı uzay keşifleri için yaşam desteği sağlayacak şekilde, fiziksel, kimyasal ve biyolojik teknolojiler ve birim proseslerinden oluşur. Birçok araştırma projeleri bu hedefe destek için son birkaç yılda yapılmıştır. Sonuç olarak önemli bir miktarda deneysel veri elde edilmiştir. Bununla birlikte, bu veri yararlı bilgilerin ayıklanmasında, yöntem sistem analiz entegrasyonu için bir YDS sistemini planlamak, tasarlamak, oluşturmak ve işletmek için bu verilere mutlaka ihtiyaç vardır. Bilgi işleme için sistem analiz araçları ve metodlarının geliştirilmesi bu amaç için etkili bir yaklaşım olur.

Araştırmanın çok disiplinli doğası nedeniyle, deney sonuçlarının çoğu, henüz bilgi tabanları halinde organize edilmeyi beklemektedir. Böylece, bilginin işlenmesi ve organizasyonu kritik bir adımdır.Çeşitli belgeler sistem tasarımı ve entegrasyonu için araştırma bilgilerinin değerlendirilmesi amacına yönelik bilgi işlem ve sistem analizi tekniklerini desteklemek için NASA'nın YDS topluluğu tarafından son yıllarda geliştirilmiştir. Bu ilgi sistemlerin desteklenmesi çabalarında YDS uygulamaları için ilgili araştırmaları teşvik etmiştir. Örnekler araştırmacılar arasındaki tartışma ve bilgi alışverişini kolaylaştırmak için bir internet platformu geliştirme, YDS araştırma programının tüm yaşamsal alanlarının, önemli bir örtüşme olmadan ele alınmasını sağlayacak şekilde, araştırma proje yönetimi kolaylaştıracak bilgisayarlı araçları inşa etmek ve biyokütle üretimi bileşeni gibi farklı altsistemlerin tasarımı ve işletimine destek verecek karar destek sistemlerinin geliştirilmesini içermektedir. Matematiksel modelleme, özellikle biyokütle üretimi bileşeni için süreç düzey modelleri ve tüm YDS sisteminin en üst düzey modelleri olmak üzere sistem analizi çalışmalarının halen ana odaklarından biridir. Bu alanda gelecekteki

ihtiyaçlar, çoklu zorluklarla baş edebilen (gürbüz) tarımsal bitki modellerinin devamlı geliştirilmesidir. Bu zorluklar; YDS sistemlerinde oluşabilecek nominal olmayan koşullar nedeniyle kanopi gaz değişimi, hasat indeksleri ve üretim planlamasındaki değişimlerin yn ve büyüklüğünün tahminleriyle ilgilidir. Bir mühendislik projesi kavram aşamasından tasarım ve uygulamasına doğru ilerledikçe, gerekli bilgi ve detayların karmaşıklığı artar. Bilginin kullanımı ve işlenmesi, uzun vadeli insanlı uzay keşif ihtimali olasılıktan çıkıp gerçekleşmeye başladıkça daha önemli hale gelecektir. Gelecekteki gösterilmesi gereken çabalar, çeşitli araştırma çalışmalarından elde edilen temel bilgi (information) ve türetilmiş bilginin (knowledge) entegre yeteneğini geliştirmek, sistemlerin analizlerini yapmak, tasarım ve operasyon prosedürleri tamamlamak ve sistem düzeyindeki etkileşim ve performanslarının değerlendirilmesidir. Sistemlere yönelik çalışma ve analizler NASA'nın YDS programının başarisının bir tamamlayıcı parası olarak devam edecektir.

Kaynaklar

1. Averner, M. M. 1989. Controlled ecological life support systems. *Lunar Base Agriculture: Soils for Plant Growth*, eds. D. W. Ming, and D. L. Henninger. 173-191. Madison, WI: American Society of Agronomy.
2. Hanford, A. J. 2002. Advanced life support systems modeling and analysis project baseline values and assumption document. *JSC 39317, Crew and Thermal Systems Division*. Houston, TX: NASA-Lyndon B. Johnson Space Center.
3. Barta, D., J. M. Castillo, and R. E. Fortson. 1999. The biomass production system for the bioregenerative planetary life support systems test complex: Preliminary designs and considerations. *Proc. of the 29th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 1999-01-2188. Warrendale, PA: SAE International.
4. Kacira, M., and P. P. Ling. 2001. Design and development of an automated and non-contact sensing system for continuous monitoring of plant health and growth. *Trans. ASAE* 44: 989-996.
5. Hashimoto, Y. 1989. Recent strategies of optimal growth regulation by the speaking plant concept. *Act Hort.* 260: 115-121.
6. Fleisher, D. H. 2001. Crop modeling for multiple crop production and control for advanced life support systems. Ph.D diss. Camden, NJ: Rutgers University.
7. Cavazzoni, J., T. Volk, and G. Stutte. 1997. A modified CROPGRO model for simulating soybean growth in controlled environments. *Life Support and Biosphere Science* 4: 43-48.
8. Fleisher, D. H., J. Cavazzoni, G. A. Giacomelli, and K. C. Ting. 2003. Adaptation of SUBSTOR for hydroponic white potato production in controlled environments. *Trans. ASAE* 46: 531-538.
9. Cavazzoni, J., and P. Ling. 1997. Coupling machine vision and crop models for closed-loop plant production in advanced life support systems. *Life Support and Biosphere Science* 6: 279-285.
10. Russo, D., and D. Henninger. 2002. Advanced life support project plan. Crew and Thermal Systems Division Lyndon B. Johnson Space Center CTSD-ADV-348 Revision C, JSC Publ. No. 39168. Houston, TX: Lyndon B. Johnson Space Center.
11. Ting, K. C. 2001. Concurrent science and engineering approach to decision support for controlled environment plant production. *Proc. of International Symposium on Design*

- and *Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses*, eds. S. Chen, T. Lin, C. Yeh, and R. Chen, 85-94. Taipei, Taiwan: National Taiwan University.
12. Fleisher, D. H., K. C. Ting, M. Hill, and G. Eghbali. 1999. Top level modeling of biomass production component of ALSS. *Proc. of the 29th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 1999-01-2041. Warrendale, PA: SAE International.
 13. Ting, K. C. 1998. Systems analysis, integration, and economic feasibility. *Robotics for Bioproduction Systems*, eds. N. Kondo, and K. C. Ting, 287-320. St. Joseph, MI: ASAE.
 14. Ting, K. C., and G. A. Giacomelli. 1992. Automation-culture-environment based systems analysis of transplant production. *Transplant Production Systems*, eds. K. Kurata, and T. Kozai, 83-102. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
 15. Ting, K. C. 1997. Automation and systems analysis. *Plant Production in Closed Ecosystems*, ed. E. Goto, 171-197. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
 16. Hanford, A. J., and M. K. Ewert. 2001. Advanced life support systems integration, modeling, and analysis reference missions document. CTSD-ADV-383, Crew and Thermal Systems Division. Houston, TX: Lyndon B. Johnson Space Center.
 17. Lange, K. E., and C. H. Lin. 1998. Requirements definition and design considerations. CTSD-ADV-245 (Revision A) Crew and Thermal Systems Division. Houston, TX: Lyndon B. Johnson Space Center.
 18. Lange, K., K. Stafford, and W. C. Lee. 2002. ALS equipment database development. Presentation to the Systems Integration Modeling and Analysis Project Element.
 19. Kang, S., K. C. Ting, and A. J. Both. 2001. Systems studies and modeling of advanced life support systems. *Agricultural and Biosystems Engineering* 2: 41-49.
 20. Rodriguez, L. F. 1999. The information flow analysis of the research activities within the New Jersey NASA Specialized Center of Research and Training. MS thesis. Camden, NJ: Rutgers, The State University of New Jersey.
 21. Penning de Vries, F. W. T., D. M. Jansen, H. F. M. ten Berge, and A. Bakema. 1989. *Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops*. Wageningen, The Netherlands: Pudoc.
 22. Cavazzoni, J., T. Volk, B. Bugbee, and T. Dougher. 1999. Phasic temperature and photoperiod control for soybean using a modified CROPGRO model. *Life Support and Biosphere Science* 6: 273-278.
 23. Volk, T., B. Bugbee, and R. Wheeler. 1995. An approach to crop modeling with the energy cascade, *Life Support and Biosphere Science* 1: 119-127.
 24. Jones, H. W., and J. Cavazzoni. 2000. Top-level crop models for advanced life support analysis. *Proc. of the 30th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 2000-01-2261. Warrendale, PA: SAE International.
 25. Goudarzi, S., and A. J. Both. 2004. Accounting for performance decrements in crew time calculations for space missions. *Proc. of the 34th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 2004-01-2362. Warrendale, PA: SAE International.
 26. Rodriguez, L. F. 2002. A dynamic object-oriented advanced life support system model. PhD diss. Camden, NJ: Rutgers, The State University of New Jersey.
 27. Hsiang, H. H. 2002. Top-level modeling of a food processing and nutrition (FPN) component of an advanced life support system (ALSS). MS thesis. Camden, NJ: Rutgers, the State University of New Jersey.
 28. Goudarzi, S., and K. C. Ting. 1999. Top level modeling of crew component of ALSS. *29th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 1999-01-2042. Warrendale, PA: SAE International.
 29. Goudarzi, S., J. Cavazzoni, and A. J. Both. 2002. Dynamic modeling of crew performance for long duration space missions. *32nd International Conference on*

Environmental Systems. SAE Technical Paper Series No. 02ICES-196. Warrendale, PA: SAE International.

30. Rodriguez, L. F., S. Kang, J. A. Hogan, and K. C. Ting. 1999. Top-level modeling of waste processing and resource recovery component of an ALSS. *29th International Conference on Environmental Systems*. SAE Technical Paper Series No. 1999-01-2044. Warrendale, PA: SAE International.
31. Drysdale, A. E., M. K. Ewert, and A. J. Hanford. 2003. Life support approaches for Mars missions. *Adv. in Space Res.* 31: 51-61.
32. Levri, J. A., and D. A. Vaccari. 2004. Model implementation for dynamic computation of system cost for advanced life support. *Adv. Space Res.* 34: 1539-1545.
33. Wu, A. S., and I. I. Garibay. 2004. Intelligent automated control of life support systems using proportional representations. *IEEE Trans. Sys. Man and Cybern. Part B.* 34: 1423-1434.
34. Wheeler, R. M. 2003. Carbon balance in bioregenerative life supports systems: Some effects of system closure, waste management, and crop harvest index. *Adv. in Space Res.* 31: 169-175.