

TÜBİTAK

ARAŞTIRMA PROJESİ

GELİŞME RAPORU

(Bilimsel Rapor)

PROJE NO : 113F070
RAPOR NO : 1. Gelişme Raporu
RAPOR DÖNEMİ : 01/09/2013 - 01/09/2014
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ : Emre Işık

BİLİMSEL RAPORDA OLMASI GEREKEN BİLGİLER

1. Dönem içinde projeyle ilgili bilimsel ve teknik gelişmeler proje planı ile karşılaştırılarak verilmeli, elde edilen veriler ile varılan ara sonuçlar, varsa materyal, yöntem ve kapsam değişiklikleri belirtilmeli ve tartışılmalıdır.
2. Dönem içindeki idari gelişmeler (yardımcı araştırmacı ve personel değişikliği, ek süre, yürütücünün kurum değişikliği ve varsa diğer destekleyen kuruluşlarla sürdürülen işbirliği, vb. konularındaki bilgiler) verilmelidir.
3. Proje çalışmaları kabul edilen çalışma takvimine uygun yürümüyorsa gerekçeleri açıklanmalıdır.
4. Bir sonraki dönem içinde yapılması planlanan çalışmalar (öneri formundan farklı bir durum oluşmuş ise) belirtilmelidir.
5. Destekleyen diğer kuruluşlarla ilgili sorunlar var ise ayrıntıları ve çözüm önerileri sunulmalıdır.
6. Dönem içinde proje kapsamında yapılan yayımların ve toplantılarda sunulan bildirilerin birer kopyası eklenmeli ve yapılan yayımlarda TÜBİTAK desteği belirtilmiş olmalıdır.

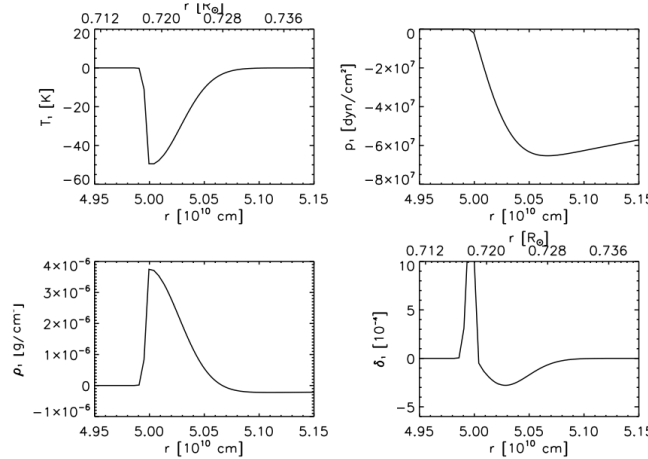
(Her madde için gerektiği kadar alan ve ek sayfa kullanabilirsiniz)

1. Dönem İçinde Projeye İlgili Bilimsel ve Teknik Gelişmeler

“Güneş ve benzeri yıldızlarda manyetik etkinlik çevrimlerinin modellenmesi” başlıklı projenin ilk yılında Güneş için stokastik bileşenler ve doğrusal olmayan doyum mekanizması içeren, gözlemlerle uyumlu bir referans dinamo modeli üzerinde çalışılmıştır. Bunun yanında, etkinlik çevrimlerinde önemli rol oynadığı düşünülen bazı fiziksel süreçlere ilişkin ayrıntılı modeller geliştirilmiştir. Bu modellerin bir kısmı, proje önerisinde belirtildiği gibi, Göttingen, Almanya’da yer alan Max Planck Institute for Solar System Research (MPS)’den Dr. R. H. Cameron ve Prof. Dr. Manfred Schüssler ile ortak çalışmalar çerçevesinde yapılmaktadır.

Eylül-Ekim 2013’te çalışmaların yürütüleceği iş istasyonu, taşınabilir bilgisayar ve lisanslı programlar alınmış, donanım testleri yapılmış, bu bilgisayarlara gerekli tüm yazılımlar (Debian/GNU Linux, IDL, GFortran, LaTeX, ...) kurulmuştur. Kendiliğinden yedekleme düzeni oturtulmuştur. Tüm bu işler, yüksek lisans **bursiyeri** Can Sağıroğlu’nun yardımları ile yapılmıştır. Bursiyer, İP-3’de yerine getirdiği sorumluluklarının dışında, yüksek lisans tez konusu (yıldızlarda etkinlik çevrimlerinin BL dinamo modelleri) ile ilgili temel bilgiler öğrenmenin yanında literatür taraması yapmış, tezinin giriş bölümünün önemli bir kısmını yazmıştır.

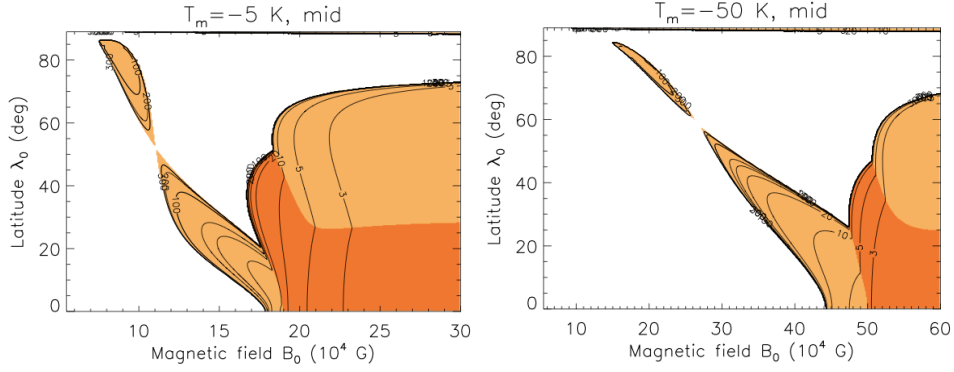
[İP 1] – Yarı analitik hesaplar



Şekil 1. Birinci derece termodinamik tedirginliklerin radyal kesitleri. Yarıçapın fonksiyonu olarak, sol üstten başlayarak, sıcaklık, basınç, yoğunluk (g/cm^3) ve süperadyabatiklik tedirginlikleri. Konveksiyon bölgesinin tabanı yaklaşık $r \approx 5 \times 10^{10} \text{ cm}$ ’dedir.

Güneş’in etkinlik çevrimi boyunca, konveksiyon bölgesinin tabanında toroidal manyetik akı miktarının zamana bağlı olması beklenir. Bu iş paketinde, güçlenen toroidal alanın alt konveksiyon bölgesinde (0.71-0.77 güneş yarıçapı) biriktiği varsayılmıştır. Azimutal (toroidal) manyetik alanların bu bölgede konvektif enerji akısını baskılayarak bir sıcaklık tedirginliğine (soğumaya) yol açması beklenmektedir (Rempel 2003). Rempel’in (2003) zamana bağlı olarak yarı analitik biçimde hesapladığı radyal soğuma kesitine benzer bir sıcaklık tedirginliği, asimetrik bir Gauss fonksiyonu kullanılarak bu bölgeye uygulanmıştır. Buna karşılık gelen basınç, yoğunluk, özgül entropi ve süperadyabatiklik (ortamın sıcaklık gradiyenti ile adyabatik sıcaklık gradiyenti arasındaki fark) tedirginlikleri, hidrostatik denge ve hal denklemlerinde doğrusallaştırma yapılarak yarı analitik biçimde hesaplanmıştır. İlgili kesitlerden bazıları, **Şekil 1**’de verilmiştir. Tedirginliklerin bulunması için hal denklemi ile hidrostatik denge koşulu doğrusallaştırılmış, buradan basınç tedirginliği sayısal integrasyonla elde edilmiştir. Aslında doğrusal bir diferansiyel denklem içermesine karşın bu çözümde sayısal yöntemin seçilmesinin nedeni, denklemdeki diğer tüm termodinamik değişkenlerin her bir derinlikteki değerlerinin konvektif katman modelinden alınmış olmasıdır (Shaviv ve Salpeter’in (1973) yerel olmayan karışım uzunluğu formalizmini uygulayan Skaley ve Stix (1992) modeli). Böylece, manyetik akı tüpü dinamiğinde kullanılan konvektif bölge modeli, manyetik kaynaklı termodinamik tedirginliklerle donatılmıştır. Oluşturulan termodinamik tedirginliklerin konvektif bölge modeline uygulanması sırasında, bu modeli daha önce kullanmış olan Dr. Thomas Granzer’den fikir almak üzere, proje bütçesinden Potsdam, Almanya’daki Leibniz Astrofizik Enstitüsü’ne bir haftalık bir ziyarette bulunulmuştur (20-26.01.2014). Yürütücü tarafından yapılan ve oldukça verimli geçen bu ziyaret sırasında, enstitünün "Kozmik Manyetik Alanlar" başlıklı biriminin direktörü Prof. Dr. K.G. Strassmeier’in davetiyle bir "Kollokium Konuşması" (konferans) verilmiştir. Konuşmanın başlığı: "Modelling Magnetic Flux Transport in the Sun and Active Cool Stars". Bu iş paketi tamamlanmıştır.

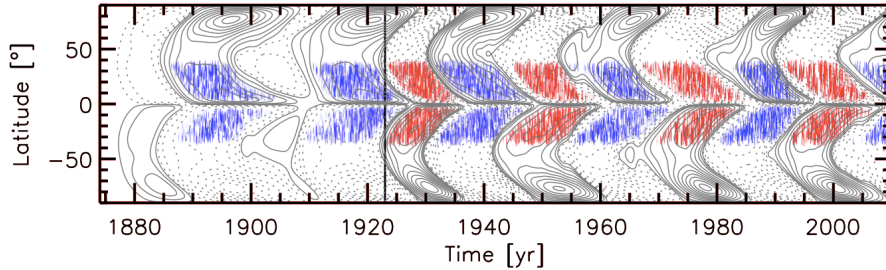
[İP 2] – Doğrusal davranış öngörüsü ile doğrusal olmayan dinamik karşılaştırılması



Şekil 2. İnce akı tüplerinin doğrusal kararsızlık haritaları. Beyaz bölgeler kararlı, açık ve koyu renkli bölgeler sırasıyla $m=1$ ve $m=2$ modlarında manyetik kaldırma (Parker) kararsızlığı olan durumları gösterir. Kontur çizgileri, gün biriminde büyüme sürelerini gösterir. Soldaki grafikte 5 K, sağdakiinde 50 K'lık bir yerel soğuma hesaba katılmıştır. Soğuma kesiti, Şekil 1a'daki gibidir.

Bir önceki iş paketinde sözü edilen konvektif bölge modeli, akı tüplerinin doğrusal kararsızlık haritalarının çıkarılmasında kullanılmıştır. İnce akı tüpü ve büyük plazma betası yaklaşımları altında küresel geometride doğrusal tedirginliklerin dispersiyon bağıntıları kullanılarak kararsızlık haritaları oluşturulmuştur. Bu diyagramlar, manyetik alan kökenli yerel entropi azalmasının manyetik akı tüplerini ne düzeyde kararlı hale getirdiğini ortaya çıkarmıştır (**Şekil 2**). Tedirgin edilmiş konveksiyon bölgesi modeli, akı tüplerinin doğrusal olmayan, 3 boyutlu Lagrangian dinamiği kodunda kullanılarak deneme benzetimleri yapılmıştır. Sayısal benzetimler, akı tüplerinin kararsızlık yaşadığı durumlarda tedirgin edilmemiş katmanlaşmaya göre –beklendiği üzere – daha düşük eğiklik açılarına sahip olduklarını göstermiştir. Güneş çevrimlerinde leke gruplarının ortalama eğiklik açısında gözlenen çevrimsel değişimleri elde etmek için gerekli eşik sıcaklık tedirginliği, halen yapılan benzetimlerle bulunacaktır. Yürütücü tarafından yapılan bu çalışma ve sonuçları üzerine halen bir makale yazılmaktadır [İP 8] (bkz. 6. madde, yayın #1). Bu iş paketi büyük ölçüde tamamlanmıştır.

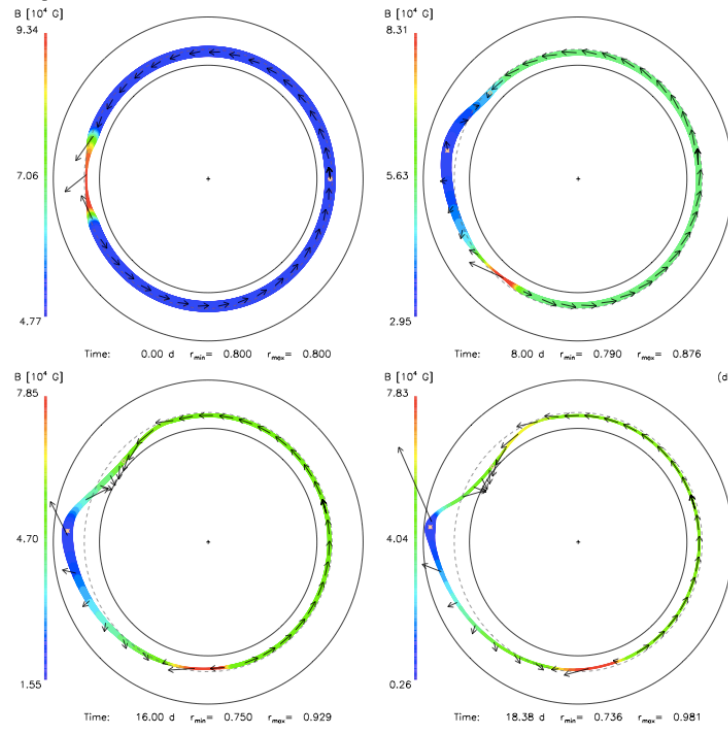
[İP 3] – Doğrusal olmayan BL dinamosu



Şekil 3. Kelebek diyagramı (enlem-zaman) benzetimi. Poloidal manyetik alanı temsil eden vektör potansiyel bileşenine yüzeyde eklenen pozitif (mavi) ve negatif (kırmızı) stokastik katkılar ve bu katkılarının sonucunda diferansiyel dönme ve pompalama süreçleriyle konveksiyon bölgesinin tabanında sarılan toroidal manyetik alan (konturlar; düz ve kesikli çizgiler zıt işaretli alanları temsil eder). 1923 yılındaki dikey çizgiye kadar Güneş'te gözlenen kaynaklar kullanılmış, dikey çizgi sonrasında ise stokastik modülle birlikte dinamo halkası kapatılarak sentetik çözüm üretilmiştir.

Yürütücünün proje öncesinden bu yana geliştirdiği, stokastik kaynaklarla beslenen akı taşınım dinamo modelinin içe akışlarla birlikte ilk testleri yapılmıştır. İçe akışlar, ilk yaklaşımda BL (Babcock-Leighton) kaynak teriminin doğrusal olmayan biçimde sınırlandırılması (quenching) ile temsil edilmiştir. Çok parametrelili paralel benzetimleri yöneten kabuk betikleri ve parametre değişim programları **bursiyerin** de yardımıyla yazılmış, bunların testleri **bursiyer** tarafından başarıyla gerçekleştirilmiştir. Benzetimler manyetik difüzyon katsayısının ve manyetik pompalamanın radyal kesitlerinin farklı durumları için yapılmıştır. Ancak içe akışlarla birlikte bu testler yapılırken dinamonun yeterince güçlenemediği görülmüş, bu sorunun çözümü için sayısal modül, içe doğru akışlar olmaksızın yeniden incelemeye alınmıştır. Bu sırada yürütücü ikinci yurt dışı ziyaretini gerçekleştirmiştir (5-19.07.2014). MPS'den R.H. Cameron ve M. Schüssler ile yapılan tartışmaların ışığında, dinamo modelinin empirik kalibrasyonu yürütücü tarafından yeniden ve gözlemlerle daha tutarlı biçimde yapılmıştır. Ancak yine de, modülün stokastik bileşeninin gerçek Güneş'te birim zamanda yüzeye çıkan manyetik akıyı temsil etmesinde sorunlar yaşanmıştır. Bu nedenle yürütücü halen ilgili testleri ve düzeltmeleri yapmaktadır. Buna koşut olarak modelle ilgili bir makaleyi de hazırlamaktadır [İP 8] (bkz. 6. madde, #2). Bu parametre de ayarlandığında modelde doyum mekanizmasının (içe akışlar) hesaba katılması söz konusu olacaktır. Her ne kadar kesin sonuç değilse de, kalibrasyon çalışmalarında yapılan bir ara çözümün gösterimi **Şekil 3'de** verilmiştir.

[İP 4] – Yüzey altı akışlar



Şekil 4. Mekanik denge durumu ile 0.80 güneş yarıçapından başlayan bir akı tüpünün yüzeye çıkışı. Saat yönünün tersine doğru dönen yerel koordinat sisteminde çizilmiş, oklar bu çerçeveye göre hız vektörlerini, kalınlık her bir şeklin maksimumuna normalize edilmiş akı tüpü kalınlığını, renk kodu manyetik alan şiddetini göstermektedir. Kesikli çizgi başlangıç yarıçapını, iç ve dış çember sırasıyla konveksiyon bölgesinin tabanını ve tavanını göstermektedir.

Güneş'te yüzey altı akış desenlerinin akı tüpü yükseliş benzetimlerinde hesaba katılması ile ilgili bu iş paketinde ön araştırma yapılırken Nelson vd. (2014) ve Nelson ve Miesch'in (2014) yeni yayınlanan çalışmaları dikkatimizi çekmiştir. Bu çalışmalarda, eş bölüşüm üstü (super-equipartition) manyetik akı tüplerinin üç boyutlu MHD benzetimlerinde konveksiyon bölgesinin ortasında (~0.80 güneş yarıçapı), çalkantılı konvektif akışlar ve diferansiyel dönmenin etkisiyle oluştuğu ve kararsız hale geldiği, yüzeye çıktıklarında da Güneş lekeleri bölgelerinin gözlenen özelliklerine benzer özelliklere sahip olabildiği (ör. doğru eğiklik açısı) gösterilmiştir. Literatürde şimdiye dek manyetik akı tüplerinin konveksiyon bölgesinin tabanında depolanmasını inceleyen modeller (ör. Fan 2009; Işık ve Holzwarth 2009) ya da bu varsayıma dayanan dinamo modelleri yapılmıştır. Nelson vd.'nin (2014) bu çalışması, yüzeye çıkan toroidal akının kökeni ve eğiklik açılarının rastlantısal gibi görünen dağılımı hakkında çok farklı olasılıkları gündeme getirmiştir (yine de bu durum, bölgenin tabanında da akı depolanmadığı anlamına gelmez). Dış akışlara göre çok daha önemli ve öncelikli olan bu etkiyi incelemek için İP 4'te değişiklik yapılmıştır. Buna göre, akı tüpünde eksene simetrik olmayan eş bölüşüm üstü manyetik alan tedirginliği oluşturmak üzere akı tüpü kodunda değişiklikler yapılmıştır. Akı tüpü, konveksiyon bölgesinin adyabatik üstü (konvektif kararsız) kısımlarında, farklı başlangıç koşulları ile başlatıldığında beklenildiği gibi manyetik kaldırma (buoyancy) kararsızlığına uğrayarak çok farklı eğiklik açıları ile yüzeye çıkmaktadır (**Şekil 4**). Böylece, konveksiyon bölgesi içerisinde, akı tüplerinin farklı denge durumları ile başlayarak edindikleri özelliklerin, yüzeyde gözlenen eğiklik açısı dağılımında önemli olabileceği gösterilmiştir. Yürütücünün ikinci yurt dışı ziyaretinde bu çalışmaya ortak bir tartışma ile şekil verilmiştir. Halen ek hesaplar ve benzetimler yapılmakta, sonuçlar bir makale (bkz. 6. madde, #3) içerisinde toparlanmaktadır [İP 8].

Kaynaklar

- Fan, Y., 2009, Magnetic Fields in the Solar Convection Zone, *Living Rev. Solar Phys.*, 6, 4
- Işık, E., Holzwarth, V., 2009, Flow instabilities of magnetic flux tubes. IV. Flux storage in the solar overshoot region, *Astron. & Astrophys.*, 508, 979
- Nelson, N.J., Brown, B.P., Sacha Brun, A., Miesch, M.S., Toomre, J., 2014, Buoyant Magnetic Loops Generated by Global Convective Dynamo Action, *Solar Phys.*, 289, 441
- Nelson, N.J., Miesch, M.S., 2014, Generating buoyant magnetic flux ropes in solar-like convective dynamos, *Plasma Phys. Control. Fusion*, 56, 064004
- Rempel, M. 2003, Thermal properties of magnetic flux tubes. II. Storage of flux in the solar overshoot region, *Astron. & Astrophys.*, 397, 1097
- Shaviv, G., Salpeter, E.E., Convective Overshooting in Stellar Interior Models, *Astrophys. J.*, 184, 191
- Skaley, D. ve Stix, M., The overshoot layer at the base of the solar convection zone, *Astron. & Astrophys.*, 397, 1097

2. Dönem İçinde İdari Gelişmeler

Bursiyerin (Can Sağıroğlu) projeye eklenmesi dışında herhangi bir idari gelişme olmamıştır.

3. Proje Çalışma Takvimine Uygun Yürümüyorsa Gerekçeleri

[İP 3] – Doğrusal olmayan BL dinamosu (2 ay gecikmeli)

Stokastik dinamo modelinde yaşanan hesaplama sorunlarından dolayı bu iş paketi halen yürütülmektedir. MPS'deki meslektaşlar ile yapılan tartışmaların da yardımıyla yapılan çalışmalar sonucunda gözlemsel manyetik akı dağılım kalibrasyonu yenilenmiştir. Manyetik akının ortaya çıkış frekansının ve bir çevrim boyunca ortaya çıkan toplam akının da gözlemlerle uylaştırılması durumunda içe akışlı durumların denenmesi ve uygun dinamo modellerinin ikinci rapor dönemi içerisinde elde edilmesi ve yayınlanması beklenmektedir.

[İP 5] – Dinamonun seküler (uzun dönemli) davranışı (2 ay gecikmeli)

İP 3'te geliştirilen modele bağımlı olduğu için bu iş paketine henüz başlanmamıştır. İP 3'teki sorunlar çözülünce ikinci rapor dönemi içerisinde İP 5'e de başlanacaktır.

4. Bir Sonraki Dönemde Yapılması Planlanan Çalışmalar

Eylül 2014 – Mart 2015 arasındaki ikinci rapor döneminde yapılması planlanan çalışmalar, *İP 4 dışında öneri formundan farklı bir durum oluşmamış olsa da*, aşağıda özetlenmiştir.

İP 1 ve 2 ile ilgili yayın çalışmaları tamamlanacaktır (bkz. yayın #1).

İP 3'teki eksiklikler giderilecek, poloidal kaynak terimi doğrusal olmayan biçimde baskılanan dinamo modeli tamamlanarak yayınlanacaktır (bkz. yayın #2). Duruma göre doğrusal olmayan terim ek bir makalede de ele alınabilir.

İP 4'ün yukarıda açıklanan değişikliklerle birlikte ilgili benzetimler ve hesaplar yapılarak makalesi tamamlanacaktır (yayın #3).

Doğrusal olmayan, stokastik BL dinamo benzetimleri (İP 5), yüzyıllar ölçeğindeki sürelerde çalıştırılacaktır. Benzetimler, çok parametre üzerinden paralel olarak çalıştırılacaktır. Maunder minimumu benzeri büyük minimumları veren çözümler aranacak, ilgili parametre aralıkları belirlenecektir. Burada, rastlantısal etkilerin önemi de ayrıca araştırılacaktır.

Güneş dinamosu için yapılan referans modeli, dönme hızının artırılması ile birlikte Güneş'in genç hallerini temsil eden yıldız modellerine uygulanmasına başlanacaktır (İP 6). Manyetik akının yıldız yüzeyinde ortaya çıktığı bölgeleri ve eğiklik açılarını belirlemek için akı tüpü benzetimleri yapılacak, her bir dönme hızı için oluşturulacak tablolar stokastik dinamo modelinde kullanılacaktır. Manyetik akının yüzeye çıkış dağılımı, dönme hızına göre belirlenecektir. Bu yapılırken gözlemsel sonuçlar kullanılacaktır. Bu çalışmadan bursiyerin yüksek lisans tezi de çıkacaktır. Yayının ise son rapor döneminde gönderilmesi planlanmaktadır.

Geliştirilen modellerin ve ilk sonuçlarının üçüncü rapor döneminde uluslararası toplantılarda sunulması ve/veya ikinci/üçüncü dönemde yurt dışı ziyaretlerde seminer olarak verilmesi de düşünülmektedir.

5. Destekleyen Diğer Kuruluşlarla İlgili Sorunlar Varsa Ayrıntıları ve Çözüm Önerileri

6. Dönem İçinde Proje Kapsamında Yapılan veya hazırlanan Yayınlar ve Toplantılarda Sunulan Bildiriler

Sıra	Çıktı türü	Yazarlar	Başlık	Yayın yeri	Durumu*
1	SCI makalesi	E. Işık	Effects of entropy variations in the lower convection zone on sunspot group tilt angles	ApJ ya da A&A	Hazırlık aşamasında
2	SCI makalesi	E. Işık, R.H. Cameron, M. Schüssler	A nonlinear stochastic flux transport dynamo model for the Sun	ApJ ya da A&A	Hazırlık aşamasında
3	SCI makalesi	E. Işık, R.H. Cameron, M. Schüssler	Emergence of magnetic flux tubes from the midst of the solar convection zone	ApJ ya da A&A	Hazırlık aşamasında

* Hakem değerlendirmesinde, Yayınlanmaya kabul edildi, Yayınlandı

PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN ADI SOYADI	İMZASI	TARİH
Emre Işık		26 Ağustos 2014