



UYARI: Proje örnekleri; bütünlük arzeden ideal bir proje anlamına gelmemekle birlikte, araştırmacılara proje yazımında yardımcı olmak ve fikir vermek amacı ile daha önce TÜBİTAK'a sunulan çeşitli projelerin Özet/Abstract, Amaç ve Hedefler, Konu, Kapsam ve Literatür Özeti, Özgün Değer, Yöntem, Proje Yönetimi, Ekip ve Araştırma Olanakları ile Yaygın Etki bölümlerinden alıntılar yapılarak oluşturulmuştur.

1001 – BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA PROJELERİNİ DESTEKLEME PROGRAMI

Başvurunun bilimsel değerlendirmeye alınabilmesi için, Arial 9 yazı tipinde hazırlanması ve toplamda 20 sayfayı geçmemesi gerekmektedir. (EK-1 ve EK-2 hariç) (*)

Araştırma proje önerisi değerlendirme formuna

http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/ARDEB/destek_prog/danisman_panelist/DA_Panelist_Proje_Onerisi_Degerlendirme_Formu.doc
adresinden ulaşabilirsiniz.

1. PROJE ÖZETİ

Proje başlığı, özeti ve anahtar kelimeler Türkçe ve İngilizce yazılmalıdır. **Proje özetleri birer sayfayı geçmemelidir.** Özet (summary) projenin soyut bir tanıtımı değil, ana hatları ile önerilen projenin:

- Amacı,
- Konunun kısa bir tanıtımı, neden bu konunun seçildiği ve özgün değeri,
- Kuramsal yaklaşım ve kullanılacak yöntemin ana hatları,
- Ulaşılmak istenen hedefler ve beklenen çıktılarının bilimsel, teknolojik ve sosyo-ekonomik ne tür katkılarda bulunabileceği

hususlarında ayrı paragraflar halinde kısa ve net cümlelerle bilgi verici nitelikte olmalıdır.

Anahtar Kelimeler ve İngilizce karşılıkları (keywords) uluslararası literatüre uygun bir şekilde seçilerek özet sayfasının sonundaki ilgili bölümde ayrıca belirtilmelidir.

Proje Başlığı : xxx

Proje Özeti

Modern bilim ve teknolojinin getirdiği pek çok gelişme, muhtelif malzemelerin küçük boyutlarda ve yüksek hassasiyetlerle işlenebilmesini gerektirmektedir. Lazer hüzmelerinin içerdiği enerjinin dalga boyu kadar (görünür ışık için yaklaşık 0.5 mikron) küçük boyutlara odaklanabilir olması, lazerleri malzeme işleme için çok cazip yapmaktadır. Günümüzde lazerler otomotiv endüstrisinden tıbbi ameliyatlara pek çok uygulamalarda kullanılmaktadır.

Malzeme işleme esnasında, lazer ışığının enerjisi madde tarafından emilir ve serbest elektronlar oluşturulur. Bu elektronlar lazer tarafından hızlandırılarak çarpışma ile yeni serbest elektronlar üretirler ve bölgesel bir "sıcak plazma" oluşturulur. Ardından plazma ısısı atom ve moleküllere iletilir, madde buharlaşma sıcaklığına ulaşır ve bölgesel "işleme" gerçekleştirilmiş olur. Malzeme işleme uygulamalarında kullanılan mikro ve nano saniye atımlı CO₂ ve Nd:YAG gibi lazerlerin oluşturabilecekleri en küçük yapı yaklaşık 20 mikrondur. Plazma oluşması sırasında ısının ışığı gören bölgeler dışına yayılması işlenen bölge çevresine zarar vermekte ve yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalar için problem teşkil etmektedir. Bunun yanında, yakın bir geçmişte geliştirilen femtosaniye (femto=10⁻¹⁵) süreçli atımlar üreten lazerlerin (ultrahızlı lazerler), çok daha üstün kalitede ve yüksek hassasiyetlerde malzeme işleyebilecekleri gösterilmiştir. Bu lazerler, süreçlerinin son derece kısa olmasından dolayı ısının madde içinde yayılmasına zaman bırakmamakta ve odak çevresine hiç zarar vermeden mikron ve hatta nanometre boyutlarda işleme yapabilmektedirler. Femtosaniye lazerler, bu "en az yan etki" özelliklerinden dolayı, insan korneasını kesmek için neşterin yerini alan yegane aygıtlardır.

Femtosaniye lazerler, saydam maddeleri de, doğrusal olmayan emilme mekanizması ile işleyebilmektedir. Bu işleme, optik güce bağlı olarak kırılma indisi değiştirme, nano-çatlak oluşturma veya boşluk oluşturma şeklinde olmaktadır. Kırılma indisi değişimi kullanılarak saydam camlar içerisinde optik dalga kılavuzları oluşturulabilmektedir. Madde içinde boşluk (veya kanallar) oluşturulması da "mikroakışkan" ve "çip üstü lab" denilen uygulamalar için önemli avantajlar sağlamaktadır. Malzeme işlemede lazer hüzmeleri genellikle merceklerle odaklanır. Lazer hüzmelerinin odaklandıklarında, kırınım nedeni ile kısa bir mesafe boyunca odaklı kaldıkları bilinmektedir. Bu da birçok uygulama için sorun veya sınırlayıcı etki teşkil etmektedir. Örneğin, cam içerisinde uzunca bir dalga kılavuzu oluşturabilmek için camı ışık yönüne dik olarak sürekli hareket ettirmek gerekmektedir. Bu da asimetric ve yüksek kayıplı kılavuzlar üretmekte ve kılavuz derinliğini sınırlandırmaktadır. Işığın kısa mesafe boyunca odaklı kalmasının önüne geçmenin bir yolu Bessel hüzmeleri kullanmaktır. Bu hüzmelerde ışığın elektrik alanı, aykırı düzlemde Bessel fonksiyonu şeklinde davranmaktadır ve bu durumda teorik olarak (düzlem dalgalar için) sonsuz, pratikte de merceklerle odaklanmış hüzmelere göre çok daha uzun çizgisel bir odak mesafesi oluşmaktadır. Benzer bir şekilde, Airy fonksiyonu şeklinde elektrik alanı sahip Airy hüzmeleri de nispeten uzun odak mesafesi sergilemekte, farklı olarak da çizgisel değil parabolik bir odak oluşturmaktadırlar. Optik modülatörler kullanılması ile bu hüzmelerin şekilleri çeşitlendirilebilmekte, örneğin optik girdaplar oluşturulabilmektedir. Genel olarak "şekillendirilmiş hüzmeler" olarak adlandırabileceğimiz bu ışık kaynakları, yakın zaman içinde araştırmacılar tarafından ilgi görmeye başlamıştır. Ancak, şekillendirilmiş hüzmelerin malzeme işleme uygulamalarında kullanımı henüz çok sınırlıdır. Bu proje önerisi özet ifadeyle, şekillendirilmiş femtosaniye lazer hüzmelerinin üretilmesi, bu hüzmelerin madde ile etkileşiminin araştırılması ve malzeme işleme uygulamalarında kullanılması konularını kapsamaktadır.



TUBITAK

Şekillendirilmiş femtosaniye lazer hüzmeleri ile malzeme işleme, bilimsel sonuçları ve uygulamaları açısından önemli sonuçlar çıkarma potansiyeline sahiptir. Örneğin, Bessel hüzmeleri ile oluşturulan dalga kılavuzları, mercekler nazaran çok daha uzun, pürüzsüz ve derin olabilecektir. Bu da bir devre üzerine çok daha fazla kılavuzun kısa sürede yazılabilmesi demektir. Mekanik tarama gerekmediğinden, titreşimlerin neden olduğu optik kayıplar indirgenmiş olacaktır. Aynı şekilde, mikroakışkan kanallar da istenen derinlik ve uzunlukta yazılabilecek, bu da çip üstü lab uygulamalarına önemli katkılar sağlayacaktır. Kavisli odaklar üreten Airy hüzmelerinin de beraber kullanılması ile, bağlayıcı, birleştirici ve ayırıcı gibi yapılar sistemlere entegre edilebilecektir. Optik modülatörün de dahil edilmesi ile işleme seçenekleri daha da arttırılmış olacaktır. Bessel ve Airy hüzmelerinin diğer bir özellikleri de "kendini yenileyebilir" olmalarıdır. Hüzmelerin bir kısmı engellense bile, kısa bir mesafe sonra aynı hüzmeye yeniden oluşabilmektedir. Bu da özellikle saçılmanın yoğun olduğu malzemelerin işlenmesinde avanaj sağlayacaktır. Örneğin biyolojik dokular, yüksek optik saçılmadan dolayı ışığın doku içinde uzun mesafe ilerlemesine izin vermemektedir. Bu da merceklerle sadece yüzeye yakın işlem yapılabilmesi anlamına gelmektedir. Yine bu proje önerisinde, Bessel ve Airy hüzmelerinin yüksek saçılmalı ortamlarda ilerlemesinin araştırılması ve işleme yapılabilirliğinin incelenmesi öngörülmektedir. Kendini yenileyen yapıları dolayısı ile bu hüzmeler saçılmalı ortamlarda çok daha derine nüfuz edebileceklerdir. Böylece, yüzey altı dağlama gerektiren işlemlerin yapılabilmesine imkan verecektir. Örneğin göz tansiyonu tedavisi için gözakı içerisinde mikro kanallar oluşturulması gerekmektedir. Saçılmanın fazla olmasından dolayı merceklerle odaklanan hüzmeler yeterli derinliğe inmemektedir. Bessel veya Airy hüzmelerinin daha alt tabakalara inebilmesinin gösterilmesi, ileriki aşamalarda bu hastalığın tedavisine de önemli katkılarda bulunabilecektir.

Bu projenin yürütülmesi başlıca dört aşamadan oluşacaktır. İlk aşamada şekillendirilmiş hüzmelerin üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirilecek, gerekli deneysel düzenek ve ekipmanlar oluşturulacaktır. Konik lensler ve optik modülatörler kullanılarak Bessel ve Airy hüzmeleri oluşturulacak, hüzmelerin sergiledikleri davranışlar ölçülecek ve bu ölçümler kuramsal beklentilerle değerlendirilecektir. İkinci aşamada, oluşturulan bu hüzmelerin çeşitli malzemelerle (cam, polimer vs.) etkileşimi üzerinde yoğunlaşılacak, dalga kılavuzu ve mikroakışkan yapılar üretilecektir. Üçüncü aşamada saçılmalı ortamlarda işleme ve biyomedikal uygulamalar üzerine yoğunlaşılacaktır. Son aşamada da, elde edilen sonuçlar doğrultusunda, pratik ve endüstriyel uygulamalara yönelik çalışmalar yapılacaktır. Projenin toplam süresinin takriben 1/6 sı birinci, 2/6 şar kısımları ikinci ve üçüncü 1/6 lık son kısmı da dördüncü aşamalar ayrılacaktır. Projenin sağlıklı ve etkin yürütülmesi için, proje yürütücüsünün yanında üç doktora öğrencisi ve üç yüksek lisans öğrencisinin görevlendirilmesi öngörülmektedir.

Özet olarak, burada öngörülen çalışmalar, halen birçok ülkede aktif araştırma konusu teşkil eden femtosaniye lazer malzeme işleme konusunda, şekillendirilmiş hüzmelerin işlemlere dahil edilmesi ile yeni bir sayfa açacaktır. Öngörülen sonuçlar elde edildiğinde uluslararası dergi ve konferanslarda yayınlanabilecektir. Beklenen sonuçlar pratik uygulamalarda da kullanılabilir, böylelikle hem akademik hem de teknolojik-endüstriyel alanda önemli katkılar elde edilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Optik, lazerler, fotonik, femtosaniye lazerler, lazer mikroişleme, şekillendirilmiş hüzmeler, ışık-madde etkileşimi.

Project Title : xxx

Project Summary

Many scientific and technological developments rely on the ability to process different materials at small dimensions and high precisions. The possibility to focus the energy of the light in a laser beam to dimensions of the order of wavelength (~0.5 µm for visible light) makes lasers very attractive for materials processing. Today lasers are used in areas ranging from automotives to medical operations.

During the material processing, first the energy of the laser light is absorbed by the medium and free electrons are generated. These electrons are then accelerated by the laser and generate new ones through collision, yielding a local "hot plasma". The plasma heat is then transferred to the lattice, raising its temperature to melting and boiling, and hence "machining" the material. The resolution (size of smallest structure generated) of micro and nanosecond-duration pulsed lasers (such as CO₂ and Nd:YAG) is limited to typically above 20 µm. The diffusion of heat outside of directly irradiated regions causes significant collateral damage on the surroundings. These side effects strongly limit applications requiring high precisions and resolutions. In the last couple decades, researchers witnessed rapid development of ultrafast lasers, which exhibit durations of merely femtoseconds (femto=10⁻¹⁵). Soon after this development, it was shown that ultrafast lasers can process materials with much improved precision. Since the durations of ultrafast lasers are orders of magnitude shorter than the heat diffusion time, they process materials with virtually no heating and damage on the surroundings of focal region. Due to their minimally invasive nature ultrafast lasers are unique in replacing the scalpel to cut the human cornea. In addition, the extreme short duration correspond to very high peak powers, making it possible to machine even hardest materials. Micromachining with femtosecond lasers is internationally very active area of research and new methods and applications are continuously being developed.

Femtosecond lasers can also process transparent materials through nonlinear optical absorption mechanisms. Depending on the pulse energy, the effect can be index of refraction modification, generation of nanocracks or void formation. Using the change in the index of refraction, it is possible to write waveguides in transparent glasses. The nanocracks and voids provide opportunities for microfluidics and lab-on-a-chip applications. In the conventional laser material processing applications, laser beams are focused using lenses. When beams are focused to small spots, the distance over which they stay intense also becomes small, due to diffraction. This limited focal depth poses problems or limitations in some applications. For example, in order to write long waveguides in glass the sample needs to be translated perpendicular to the laser direction. This results in asymmetric and lossy waveguides and long fabrication times. It also limits the maximum possible depth of structures in the material. One way of overcoming the issues associated with diffraction of focused beams is to use Bessel beams. These beams possess electric fields



TUBITAK

in the form of zeroth order Bessel function in the transverse plane. As a consequence, they form theoretically (for plane waves) infinite and in practice relatively long (compared to lens focusing) lines of foci. Similarly, Airy beams (electric field in the form of Airy function in the transverse field) also exhibit long distances of foci, but interestingly in the forms of parabola, rather than lines. In addition, by using spatial light modulators, beams with more exotic shapes, such as optical vortices can also be generated. These so-called "shaped beams" witness an increasing attention from the researchers, especially in the recent years. Yet, their use in material processing applications is very limited. In this project, we propose to generate shaped femosecond pulsed laser beams, investigate their interaction with matter and use them in material processing applications.

Material processing with shaped femosecond laser beams possesses important potentials regarding its fundamental and applied aspects. For example, using Bessel beams, one can generate much longer, deeper and smoother waveguides in glass. Since long waveguides can be written at one sample position (without mechanical scanning) process speed and optical quality will also be significantly improved. This will make it possible to fit more structures in volumes. Similarly, microfluidic channels can also be written at extended lengths and depths, providing advantages for lab-on-a-chip applications. By including the Airy beams with parabolic foci, structures like couplers, combiners and splitters can also be written. With the spatial light modulators, the possibilities of processes will be further increased. Another exotic property of Bessel and Airy beams is their ability to "self-heal". If parts of these beams are blocked, they reform themselves after brief propagation. This can be very beneficial particularly in processing materials which exhibit high optical scattering. Most biological tissues, for example, have limited penetration depth for light due to scattering and absorption. As a result, by using conventional lenses, only structures close to the surface can be ablated. In this project, we propose to investigate the propagation of Bessel and Airy beams in scattering media and look into possibilities for deep ablation in them. Due to the self-healing nature, these beams are expected to penetrate deeper in the scattering media. In order to cure glaucoma, for example, it could be possible to generate microchannels inside the corneal sclera, which normally avoids conventional beams to penetrate due to high scattering.

The project studies will be conducted in four phases. In phase I, we will focus on generation and characterization of shaped beams. The beams will be generated using axicons, spatial light modulators and phase plates. We will investigate the propagation of these beams, and compare the results with expected ones from theoretical calculations. In phase II we will use these shaped beam to process various materials (glass, polymer, etc.) and produce structures like waveguides and microfluidic channels. In phase III we will focus on processing in scattering media and biomedical applications. In the last phase, with the guidance from the results of the previous phases, we will work on potential applications of these methods. We will allocate 1/6 of the total project period for phase I, 2/6 for phases II and IV (each) and 1/6 for phase IV. In order to conduct the project with optimal performance and best effectiveness, in addition to the principal investigator, we will employ three PhD students and three masters students.

In summary, the works proposed in this project will open, by the inclusion of special shaped laser beams, a new page in the field of femosecond laser micromachining. The outputs of the project studies would be publishable in international journals and conferences. The expected results will have potential to find use in practical applications. As a result, the project will generate important outputs for both scientific and industrial fields of applications.

Keywords: Optics, lasers, photonics, femosecond lasers, laser micromachining, shaped beams, light-matter interactions.

2. AMAÇ VE HEDEFLER

Projenin amacı ve hedefleri ayrı bölümler halinde kısa ve net cümlelerle ortaya konulmalıdır. Amaç ve hedeflerin belirgin, ölçülebilir, gerçekçi ve proje süresinde ulaşılabilir nitelikte olmasına dikkat edilmelidir.

DENEYSEL PROJE ÖRNEĞİ

Projenin amacı inceltirilmiş optik fiber ve taranabilen laser kullanılarak süperhidrofobik yüzey üzerinde duran tek sıvı mikrodamların ultrayüksek çözünürlükte optik spektroskopisinin gerçekleştirilmesidir. Daha önce literatürde havada uçan, elektrodinamik kaldırma veya optik cımbızlama ile tuzaklanmış mikrodamlarda bu tür ultrayüksek çözünürlükte deneyler rapor edilmemiştir. Bu deneysel yöntemlerde mikrodamların konumsal sabitlenmesi tam olarak mümkün olmamaktadır. Mikrodamlar tuzaklanmış olsa dahi kararlı konum etrafında Brown hareketi yapabilmektedirler. Ayrıca bu yöntemler daha karmaşık deneysel düzenekler gerektirmektedir. Bu proje önerisi süperhidrofobik (su tutmayan) yüzey üzerinde duran mikrodamların getirdiği deneysel avantajdan faydalanacaktır. Bu deneysel düzende mikrodamlar kolayca tümüyle sabitlenebilmektedir. Projede hedeflenen iki temel çıktı aşağıda verilmektedir:

- Projenin temel hedefi literatürde ilk defa inceltirilmiş optik fiber ve taranabilen laser kullanılarak süperhidrofobik yüzey üzerinde duran tek sıvı mikrodamların ultrayüksek kalite faktörlerinin direk olarak ölçülmesi olacaktır. Laboratuvarımızda son beş yıldır süperhidrofobik yüzey üzerinde duran su, tuz/su ve gliserol/su mikrodamları alttan uyarı yöntemi ile bir monokromatör kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalarda fisıldayan galeri modlarının kalite faktörleri görünür dalgaboylarında yaklaşık 10^4 mertebesine kadar ölçülmüştür. Bu projede kullanılacak yeni deneysel konfigürasyon ile hedeflenen temel çıktı görünür dalgaboylarında ölçülen maksimum kalite faktörünün 10^6 değerinin üzerine ulaşmasıdır. Bu dalgaboylarında kalite faktörlerinin soğurmadan kaynaklanan üst sınırı $\sim 10^8$ 'dir. Gerçekleştirilecek ultrayüksek çözünürlükte optik spektroskopi deneyleri doğrusal olmayan ve kuantum optikte, kimyasal ve biyolojik algılamada ve kovuk opto-mekaniğinde yeni sonuçlara yol açabilecektir.

Projenin bir başka hedefi ise laboratuvarımızda inceltirilmiş optik fiber üreimi konusunda uzmanlığın geliştirilmesi olacaktır. Laboratuvarımızda $1 \mu\text{m}$ yarıçap değerine kadar inebilen inceltirilmiş fiberler üretilecektir. Geliştirilecek bu uzmanlık ileride başka optik mikrovukların incelenmesinde de kullanılabilir.

TEORİK PROJE ÖRNEĞİ

Bu projede BiTel katısının içsel nokta-kusur yapısının ve d -elektronu içeren atomlarla katılanmasının ilk-prensipiere-dayalı

hesaplamalı bir yaklaşımla incelenmesi ve karakterize edilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede hem bu malzemenin gösterdiği n -türü iletkenliğin mikroskopik kökeninin belirlenmesi hem de ele alınan içsel ve dışsal kusurların bu malzemenin elektronik yapısına ve spintronik özelliklerine nasıl etki ettiğinin öngörülmesi hedeflenmektedir. Bu amaç ve hedefler doğrultusunda stokiometrik olmayan ($\text{Bi}_{1-x}\text{Te}_x$; $x > 0$) konfigürasyonlarla beraber stokiometrik olan ($x = 0$) konfigürasyonlar karşılaştırılmalı olarak incelenilecektir.

3. KONU, KAPSAM ve LİTERATÜR ÖZETİ

Proje önerisinde ele alınan konunun kapsamı ve sınırları, projenin araştırma sorusu veya problemi açık bir şekilde ortaya konulmalı ve ilgili bilim/teknoloji alan(lar)ındaki literatür taraması ve değerlendirilmesi yapılarak proje konusunun literatürdeki önemi, arka planı, bugün gelinen durum, yaşanan sorunlar, eksiklikler, doldurulması gereken boşluklar vb. hususlar açık ve net bir şekilde ortaya konulmalıdır.

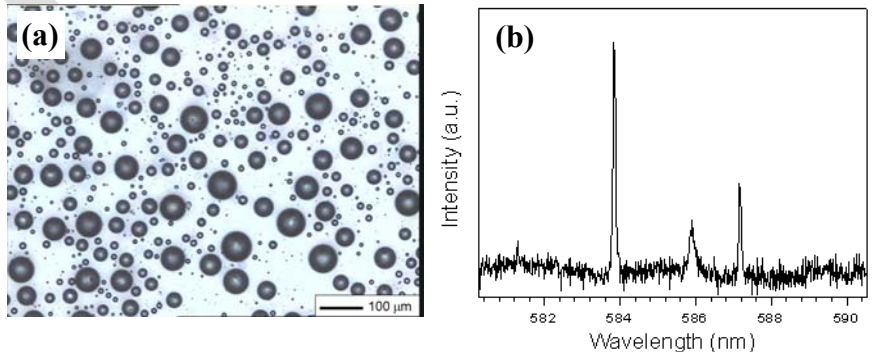
Literatür değerlendirmesi yapılırken ham bir literatür listesi değil, ilgili literatürün özet halinde bir analizi sunulmalıdır. Referanslar <http://www.tubitak.gov.tr/ardeb-kaynakca> sayfasındaki açıklamalara uygun olarak EK-1'de verilmelidir.

DENEYSEL PROJE ÖRNEĞİ

Küçük hacimlere hapsedilmiş yüksek kaliteli optik rezonansları nedeniyle optik mikrovuklar kuantum optik alanındaki temel bilimsel incelemelerde, optik haberleşme sistemlerinde ve biyolojik ve kimyasal algılama uygulamalarında kullanılırlar. Bugüne kadar değişik deneysel gösterimlerde Fabry-Perot mikrovuklar, mikroküreler, mikrodairesler, mikrohalkalar, mikrotoroidler ve fotonik kristal kusur kovukları gibi değişik yapılar sıkça kullanılmıştır. Sıvı-hava arayüz enerjisini minimize eden küresel simetrik şekilleri nedeniyle sıvı mikrodamlar da optik mikrovuk özellikleri gösterirler. Mikro/nano-üretim teknikleri gerektirmemeleri ve içlerine katılan boya molekülleri ile oda sıcaklıklarında kolayca incelenebilmeleri sıvı mikrodamları deneysel çalışmalar için cazip kılar. Bunun sonucu olarak literatürde Fabry-Perot mikrovuğundan sonra incelenen ilk optik mikrovuk tipi sıvı mikrodamlar oldu. Yirmi beş seneyi aşkın bir zamandır mikrodamlar optik spektroskopisi yöntemleri ile incelendi ve bu çalışmalarda kuantum ve doğrusal olmayan optik, aerosol bilimi ve kimyasal ve biyolojik algılamada birçok etki gözlemlendi.

Literatürde gerçekleştirilen ilk çalışmalarda havada uçan mikrodamların oluşturduğu bir akım incelendi ve mikrodamların uyarıcı laser tarafından tek tek uyarılması sağlandı. Sabitlenmiş tek mikrodamların incelenmesi ise optik yükseltme (levitation), elektrodinamik tuzaklama ve optik cımbızlama ile mümkün oldu. Optik yükseltme ve optik cımbızlamada optik kuvvetler kullanılırken elektrodinamik tuzaklamada ise elektrik yüklü mikrodamlara uygulanan Coulomb kuvveti kullanıldı. Son beş yıldır laboratuvarımızda yaptığımız çalışmalarda, literatürde ilk defa, süperhidrofobik (su tutmayan) bir yüzey üzerinde sabitlenmiş su, tuz/su ve gliserol/su mikrodamlarının optik spektroskopisi ile incelenmesi gerçekleştirildi. Süperhidrofobik yüzey kullanımı diğer mikrodamlarla sabitleme yöntemleri ile karşılaştırıldığında deneysel olarak daha kolay bir alternatif olarak öne çıkar. Ayrıca bu deneysel yöntem mikrodamların pozisyonunu tam olarak sabitler; diğer yöntemlerde olduğu gibi mikrodamların tuzaklandığı nokta etrafında bir Brown hareketi yapmaya devam etmez. Süperhidrofobik yüzey kullanımının beraberinde getirdiği bir başka avantaj ise mikrodamların optoelektronik aygıtlara entegrasyonunun sağlanmasıdır. Mikrodamları destekleyen yüzeyde elektrik kontakları gibi optoelektronik parçaların tanımlanması kolayca gerçekleştirilir.

Süperhidrofobik yüzey üzerinde duran mikrodamlar küreye çok yakın bir şekil alırlar (Şekil 1a). Kendilerine özgü kesik mikroküre geometrileriyle bu mikrodamlar yüzeye paralel olan ekvatorial düzlemde ışığı, fışıldayan galeri modları (FGMler) adı verilen mikroküre modlarında hapsederler. Yüzey ile olan temas açısı yeterince büyük olduğunda ($>150^\circ$) bu mikrovukların fışıldayan galeri modları yüksek kalite faktörlerine sahip olabilirler. Şekil 1b'de süperhidrofobik bir yüzey üzerinde duran $6 \mu\text{m}$ yarıçapında bir saf su mikrodamlarından elde edilen ışımaya tayfı gösterilmektedir. Konvansiyonel bir monokrometre ve kamera kullanılarak gözlenen bu tayfdaki FGM'lerin spektral çözünürlük sınırı ile belirlenen 8000 değerine ulaşan kalite faktörlerine sahip oldukları görülmektedir. Laboratuvarımızda son beş yıldır süperhidrofobik yüzey üzerinde duran su, tuz/su ve gliserol/su mikrodamları kullanılarak organik ışık kaynakları ve spektral tarama yöntemlerinin geliştirilmesi konularında birçok deneysel gösterim gerçekleştirildi. Organik ışık kaynakları ile ilgili çalışmalarımızda süperhidrofobik yüzey üzerinde duran mikrodamlarda boya laseri, Raman laseri ve artırılmış enerji transferi gösterildi. Laboratuvarımızda geliştirdiğimiz spektral tarama yöntemleri ise buharlaşma/yoğunlaşma, fototermal etki, elektrostatik ve sabit yatay bir elektrik alan kullanımına dayandı.



Şekil 1: (a) Süperhidrofobik bir yüzey üzerinde duran su mikrodamlarının üst görüntüsü. Ref. [3]'den alınmıştır. (b) Su tutmayan yüzey üzerinde duran $6 \mu\text{m}$ yarıçapına sahip bir mikrodamlardan kaydedilen ışımaya tayfı. Ref. [3]'den alınmıştır.

Laboratuvarımızda şu ana kadar gerçekleştirilen çalışmalarda süperhidrofobik yüzey üzerinde duran mikrodamlar ters geometride alttan uyarılmış ve FGM'ler kaydedilen ışımaya tayflarında gözlenmiştir. Kullanılan optik spektroskopisi yöntemi ve uyarı

geometrisi temel nedenlerden dolayı mikrodamların “ultrayüksek çözünürlükte spektroskopik karakterizasyonu” için uygun değildir. Optik spektroskopi deneylerinde kullandığımız monokromatör görünür dalgaboylarında 0.07 nm’lik spektral çözünürlük vermektedir. Bu da dalgaboyu 600 nm civarında olan FGM’lerin monokromatör ile ölçülebilecek en yüksek kalite faktörününün 600/0.07=8600 olacağı anlamına gelir. Dalgaboyu 600 nm civarında suyun soğurma katsayısı $\alpha=10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ’dir. Bu dalgaboyunda

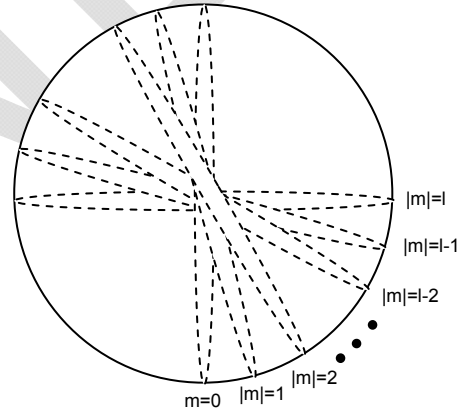
malzeme soğurumundan dolayı kalite faktörü üst sınırı $(Q_{mat} = \frac{2\pi n}{\alpha \lambda})$, n , α , λ , kırınım indeksi, soğurma katsayısı ve dalgaboyudur) 1.3×10^8 olarak hesaplanır. Bu değer su mikrodamlarının FGM’lerinde ölçülebilecek maksimum kalite faktörü değerini ifade eder. Monokromatör ile yapılan ölçümlerdeki üst sınır bu değer yaklaşık 10^4 kat altındadır.

Alttan uyarı geometrisinde yapılan ölçümlerde karşılaşılan bir başka temel problem ise FGM’lerin dejenerasyonu olmuştur. İdeal küresel geometride aynı açılal momentum sayısına sahip FGM’ler azimutal dejenerasyon gösterirler. Küresel geometriden uzak sapmalar ise bu dejenerasyonun kalkmasına ve azimutal FGM’lerin tayfinin genişlemesine yol açar. Küreden oblate veya prolata spheroid’e doğru olan bir deformasyonda FGM’lerin dejenerasyonunun kalkışı aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$\omega(m) = \omega_0 \left[1 - \frac{e}{6} \left(1 - \frac{3m^2}{l(l+1)} \right) \right]$$

Bu formülde ω_0 , e , m , l dejener frekansı, deformasyon genliğini ($e=(r_p-r_e)/r_0$), prolata ve oblate spheroid için $e>0$ ve $e<0$ ’dır), azimutal mod sayısını ($m=-l, -l+1, \dots, l$), ve açılal momentum sayısını verir. Alttan uyarı geometrisinde belli bir azimutal mod sayısına sahip FGM seçilmez. Bu nedenle kaydedilen tayflar değişik azimutal mod sayısına sahip FGM’lerin toplamını verir. Dolayısıyla ölçülen tayf genişlikleri tek bir FGM’nin tayf genişliğinden daha geniş olmaktadır.

Bu projede incelenmiş (tapered) optik fiber ve hassas bir şekilde taranabilen bir diyot laseri kullanılarak FGM’lerin ultrayüksek çözünürlükte karakterizasyonu hedeflenmektedir. Yukarıda açıklanan iki temel problem incelenmiş optik fiber ve taranabilen laser kullanımı ile çözülecektir. Deneylerde kullanılacak taranabilen laserin spektral genişliği 450 kHz’dir ve bu laser çizgisi 30 GHz buyunca taranabilmektedir. Bu özellikleri laser ile yapılacak ölçümlerde 635 nm civarında 0.6×10^{-6} nm’lik spektral çözünürlüğe ulaşabileceğini gösterir. Bu spektral çözünürlük su mikrodamlarında beklenen en yüksek kalite faktörü değeri olan 1.3×10^8 ’ün ölçülmesi için yeterlidir. Dolayısıyla monokromatörden kaynaklanan spektral çözünürlük problemi taranabilen laser kullanımı ile çözülmüş olur. Şekil 2’de gösterildiği gibi, değişik azimutal mod sayısına sahip FGM’ler mikrodamların farklı bölgelerinde dolaşırlar. İncelenmiş optik fiber mikroküreye bir noktadan yaklaştırıldığında fiberde taşınan ışık giderek sönen (evanescent) dalgalar ile yalnızca iki ($|m|$ değerleri aynı olan) azimutal moda kuple olacaktır. Dolayısıyla incelenmiş optik fiber kullanılan deneylerde aynı anda dejener FGM’lerden sadece ikisi incelenir. Bu da yukarıda özetlenen ikinci problem olan dejener olmayan FGM’lerden kaynaklanan tayf genişlemesini engeller.



Şekil 2: Azimutal dejenerasyona sahip FGM’lerin mikrokürede buldukları bölgelerin gösterimi.

İncelenmiş optik filtre ve taranabilen laserden oluşan bu deneysel düzenek daha önce katı mikroküre, mikrotoroid, mikrohalka ve fotonik kristal kusur kovuklarının ultrayüksek çözünürlükte karakterizasyonunda kullanılmamasına rağmen süperhidrofobik yüzey üzerinde duran sıvı mikrodamlarla çalışmalarında literatürde hiç kullanılmamıştır. Proje kapsamında gerçekleştirilecek deneylerde öncelikli hedef ultrayüksek kalite faktörlerinin ($Q>10^6$) ölçülmesi olacaktır. Yaygın etki bölümünde de özetlendiği gibi bu tür ölçümlerin kuantum optik, biyolojik ve kimyasal algılama ve kovuk opto-mekaniği alanlarında yeni sonuçlara esin vermesi beklenmektedir.

Optik mikrokovuklar temel kuantum optik çalışmalarında, optik haberleşme alanında ve biyolojik algılamada sıkça kullanılmaktadırlar (Yazar adı, yıl). Mikroküre, mikrodisk (Yazar adı 1 ve Yazar adı 2, yıl), mikrohalka (Yazar adı 1 vd., yıl), mikrotoroid (Yazar adı, yıl) ve fotonik kristal kusur kovukları (Yazar adı, yıl) gibi yüksek kaliteli mikrokovukların yanında sıvı mikrodamlar (Yazar adı, yıl) önemli bir yer tutar. Pürüzsüz yüzeyleriyle ultrayüksek kaliteli fısıldayan galeri modlarını (FGM’leri) barındıran sıvı mikrodamlar havada uçarken (Yazar adı, yıl), optik kaldırma ile (Yazar adı, yıl), elektrodinamik kaldırma ile (Yazar adı, yıl) ya da optik cımbızlama ile (Yazar adı, yıl) incelenmiştir. Laboratuvarımızda son beş yıldır literatürde ilk defa süperhidrofobik yüzey üzerinde duran sıvı mikrodamlar incelenmektedir (Yazar adı, yıl). Uluslararası alanda bu deneysel geometride çalışmalar yapan başka bir araştırma grubu bulunmamaktadır.

Bu proje önerisi ile literatürde ilk defa incelenmiş optik fiber ve taranabilen laser kullanılarak süperhidrofobik yüzey üzerinde duran sıvı mikrodamların ultrayüksek çözünürlükte spektroskopisi hedeflenmektedir. Taranabilen laserin yüksek hassasiyeti sayesinde bu deneysel düzende ultrayüksek optik kalite faktörlerinin ölçülmesi beklenmektedir. Suyun soğurma katsayısı düşünülduğünde

önerilen deneysel düzeneğin 635 nm civarında 10^8 değerine ulaşacak optik kalite faktörlerinin ölçülmesine izin vermesi beklenmektedir. İnceltilmiş optik fiber ile FGM'lerin uyarılmasının bir başka avantajı ise azimutal dejenerasyona sahip FGM'lerden yalnızca iki tanesinin uyarılması olmaktadır.

Daha önce inceltilmiş optik fiber ve taranabilen laser mikroküre , mikrotoroid ve fotonik kristal kusur kavitesi gibi çeşitli mikrovukuların spektroskopik incelemelerinde kullanılmıştır. Bu deney düzeneği ile sıvı mikrodamlacılar üzerine yapılan tek çalışma silika bir küre üzerinde bulunan su damlası üzerinde yapılmıştır . Bu çalışma ile projede önerilen çalışma arasında önemli farklar bulunmaktadır. Öncelikle 20 numaralı referanstaki çalışmada su damlası sudan daha düşük kırınım indeksine sahip ve su ile karışmayan bir sıvı ile çevrelenmiştir. Bu düzenek buharlaşma dengesinin kurulmasını sağlasa da optik modların damla içine hapsedilmesini zorlaştırmaktadır. Ayrıca referans 20'teki çalışmada göreceli olarak büyük (0.6-1 mm çapında) bir su damlası kullanılmıştır. Bu referansda rapor edilen deneyler suyun soğurma katsayısının göreceli olarak daha yüksek olduğu 980 nm civarında yapılmıştır. Projede deneylerin 635 nm civarında yapılması önerilmektedir. Bu da optik kalite faktörlerinde ulaşılacak üst sınırın daha yüksek olması anlamına gelecektir. Son olarak referans 20'teki çalışmada süperhidrofobik yüzey kullanılmamıştır.

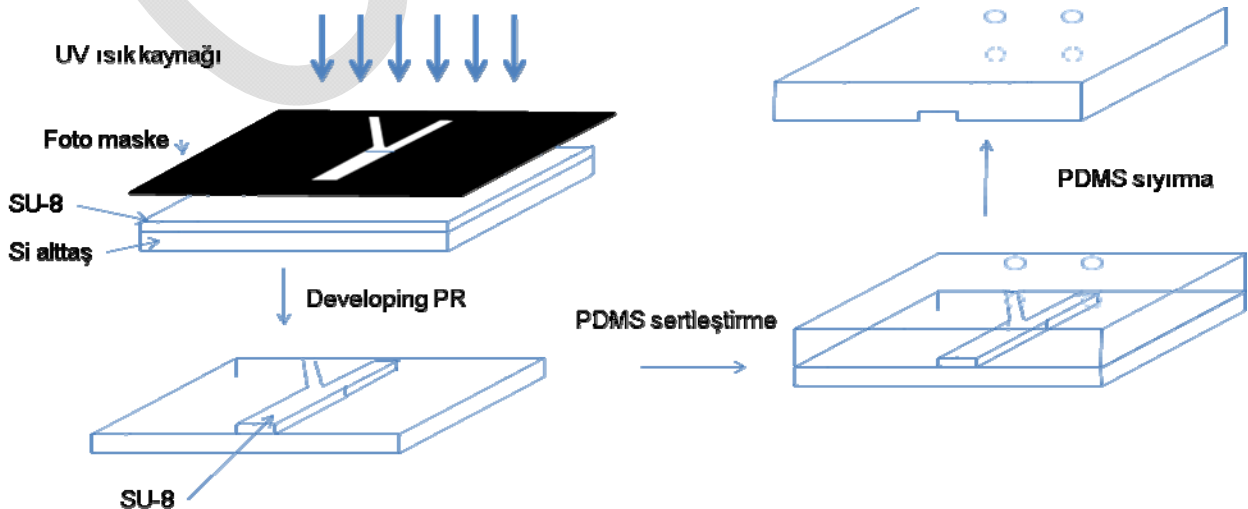
Projede önerilen inceltilmiş optik fiber ve taranabilen laser ile süperhidrofobik yüzey üzerindeki sıvı mikrodamların uyarılması doğrusal olmayan ve kuantum optikte, biyolojik ve kimyasal algılamada ve kovuk opto-mekaniğinde yeni sonuçlara esin kaynağı olabilecektir. Daha önce katı mikrovukular bu deneysel konfigürasyonda kullanılarak düşük eşikli katı-hal ve Raman laserleri , optik parametrik osillasyon ve frekans tarağı gösterilmiştir. Fısıldayan galeri modlarının (FGM'lerin) rezonans frekanslarındaki sapma hassas olarak kaydedildiğinde ise tek molekül hassasiyetinde biyolojik algılayıcılar gösterilmiştir. Bu deneysel konfigürasyon ile opto-mekanik bağlaşma gösterilmiş ve son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalarda mekanik sistemlerin kuantum sınırına yakın olarak incelenmesi mümkün olmuştur. Bu deneyler temel kuantum fiziğinin yanında gravitasyon dalgalarının algılanması gibi teknolojik konularda da önemli bir açılım oluşturmuştur .

Projede önerilen araştırma ile ilgili olarak literatürde yapılmış araştırmalar 2 ana başlık altında toplanabilir.

1. Mikroakışkan sistemler
2. Mikroakışkan sensörler

Mikroakışkan sistemler: Mikroakışkan sistemler ilk olarak 1970 yılında Stanford Üniversitesinde mikro gaz kromatografisi amacıyla geliştirildi . Bu ilk mikro boyutlardaki akışkan sistemi silikon üzerine mikrofabrikasyon yöntemiyle üretilmişti. Bu çalışmayı takip eden dört farklı grup temel mikrofabrikasyon yöntemlerini kullanarak mikroakışkanların temellelerini oluşturan araştırmaları yaptılar (Yazar adı, yıl). 1970-2000 yılları arasında üretilen mikroakışkan sistemler genel olarak silikon üzerine kimyasal aşındırma yoluyla açılan mikrokanallar kullanılarak yapılmıştır. Silikon tabanlı mikrokanalların bir çok dezavantajı vardır. İlk olarak silikon pahalı bir malzeme olduğu için ve mikrokanalların üretilmesi mikrofabrikasyon gerektirdiği için uygulamaları kısıtlı olmuştur. Silikon tabanlı sistemlerin ikinci problemi görünür bölgede geçirgen olmamasıdır. Bu sebepten dolayı bir çok optik uygulamalar için uygun değildir. Bu problemleri aşmak amacıyla cam tabanlı mikroakışkan sistemler geliştirilmiştir. Cam hem ucuz hemde geçirgen olduğundan optik ve mikro görüntüleme konusunda tercih edilen malzeme olmuştur. Cam ve silikon tabanlı sistemlerin ortak bir problemi ise yalıtma ve kapama problemidir. Cam veya silikon üzerine aşındırma metodu ile oluşturulan kanalların üzeri düz cam veya silikon ile yalıtılması gerekmektedir. Silikonun ve camın yalıtılması için yüzeyin nanometre seviyesinde düz olması gerekmektedir. Bu da temiz oda koşullarında yapılması gereken bir proses olduğu için uygulama alanı çok sınırlıdır.

Bu ve buna benzer teknik sebeplerden dolayı mikroakışkan sistemlerde polimer tabanlı malzemelerin kullanılmasını yönünde bir eğilim olmuştur. Polimerlerin esnek mekanik yapısı ve optik özelliklerinden dolayı mikroakışkan sistemler için daha kullanışlıdır. Bu alanda en önemli gelişme 1998 yılında Harvard Üniversitesinde gerçekleşmiştir. Hızlı protatip adı verilen bu teknik, Polydimethylsiloxane (PDMS) polimerini kullanarak mikroakışkan sistemleri çok hızlı bir şekilde üretilmesine olanak sağlamıştır. Şekil 7 bu metodu basamaklarını göstermektedir. PDMS viskozitesi yüksek bir sıvıdır. Pt veya Ag tabanlı bir *curing agent* ile karıştırıldığı zaman polimer zincirleri birbirine bağlanarak viskozitesi artar ve kauçuk halini alır. Sertleşen PDMS sıvı halde döküldüğü kabin şeklini alır ve kalıbın ters kopyasının PDMS yüzeyine geçmesini sağlar. Yüzey enerjisi çok düşük olan PDMS hiç bir yüzeye yapışmaz. Kalıptan çıkartılan PDMS oksijen plasma yardımıyla cam ve silicon yüzeylere kimyasal bağ yapacak şekilde yapışabilir.



Şekil 7 Polydimethylsiloxane (PDMS) kullanılarak mikroakışkan kanal üretimi.

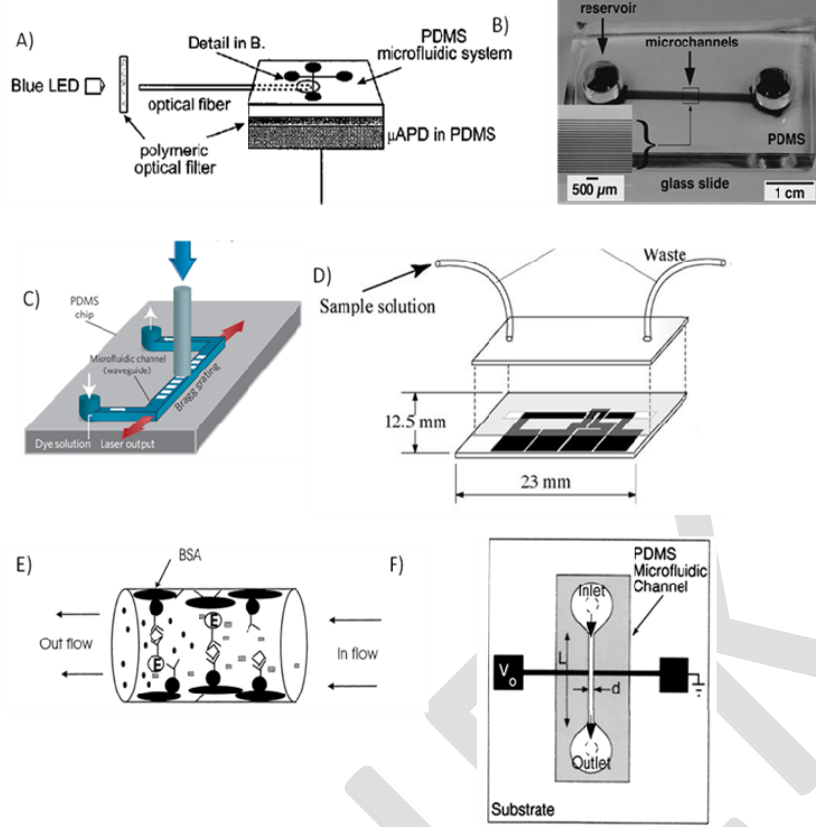
PDMS tabanlı mikroakışkan sistemlerin üretilmesinden ardından bu alanda çok hızlı bir gelişme yaşanmıştır. Bunun en temel sebebi PDMS in kullanımı kolay olması ve protatip üretiminin çok hızlı bir şekilde yapılabilir olmasıdır. Diğer yandan 360nm-1500nm arısında geçirgen olan PDMS birçok optik uygulamanın yolunu açmıştır. Mikrokanal fotoişma spectrometresi ve mikroakışkan boya lazerleri optik uygulamalar için en güzel iki örnektir. Bu gelen bilgidenden sonra önerilen projenin literatürde dolduracağı boşluk özel olarak anlatılacaktır. PDMS tabanlı mikroakışkan sistemlerin silikon ve cam tabanlı sistemlere göre çok daha avantajlı olduğu için önerilen proje kapsamında üretilecek mikroakışkan sistemler PDMS tabanlı olacaktır.

Mikro-akışkan Sensörler:

Mikro akışkan kanallar küçük hacimlerde yüksek verimli algılama kapasitelerinden dolayı sensör uygulamaları özgün tasarımlara olanak sağlamaktadır. Literatürde çok çeşitli mikroakışkan tabanlı sensörler hakkında yayınlanmış araştırmalar bulmak mümkündür. En genel olarak kullanılan örnek fotoişma sensörüdür. Şekil 8 A da bu konuda Harvard Üniversitesinde yapılmış bir öncül çalışma gösterilmektedir. Burada kanal içerisine entegre edilmiş APD ışık dedektörü ile nM yoğunluklardaki boyalardan fotoişma sinyali ölçülebilmektedir. İkinci sınıf mikrokanal optik aygıtları mikrokanal içerisine entegre ederek oluşturulan sensörlerdir. B ve C panelleri sırasıyla mikrokanallara yerleştirmiş optik grating ve Bragg aynaları vasıtasıyla yapılan algılayıcıları göstermektedir. Bu algılayıcılar temelde kırınım indeksindeki değişimleri ölçmek için tasarlanmışlardır. Üçüncü sınıf mikro algılayıcılar elektrokimyasal teknikler ile mikrokanalları birleştiren sistemlerdir. Bu sistemler mikrokanal içerisinden elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan akımları algılayıp seçici algılama yapabilmektedirler. Dördüncü sınıf olarak optik soğrulma mekanizması üzerine çalışan mikroakışkan sensörler örnek verilebilir. Bu tarz algılayıcılar ışığın optik kanal içerisinden geçerken, kanal yüzeyinin belirli kimyasallar ile kaplanması sonucu yüzeye tutunan kimyasallar tarafından soğrulmasını ölçerler. Bu test ELISA testi olarak kullanılmaktadır. Mikro kanallar içerisinden olması paralel bir çok kimyasalı aynı anda algılama imkanı oluşturur. E paneli bu tarz algılayıcılara bir örnek vermektedir. Diğer bir sınıf ise elektriksel ölçüm yapan sensörlerdir. Bu sensörler mikro kanal içerisine yerleştirilmiş elektrotlar arasında oluşan iletkenlik ve kapasitans değişimini ölçmektedir. Bu tarz sensörlerin biyolojide hücre sayma (cytometry) gibi bir çok uygulaması bulunmaktadır.

Projenin literatürdeki önemi ve dolduracağı boşluk:

Bu proje kapsamında yeni bir algılama prensibi önerilmektedir. Bu prensip temel olarak frekans uzayında faz duyarlı ölçüm yapma tekniğine dayanmaktadır. Bu projede bu tekniği mikrokanallar içerisinden hidrodinamik modülasyon ile birleştirip çok hassas ölçüm yapan özgün algılayıcılar tasarlanıp üretilecektir. Bu konu literatürde hiç çalışılmamış tamamen özgün bir konudur. Yeni bir algılama prensibi olduğu için birçok farklı sensör çeşidi ile uygulanabilir. Seçicilik ve hassasiyet sensörlerin en önemli parametreleridir. Mikroakışkan sensörler konusunda literatürde en belirgin eksiklik hem seçici hem de hassas ölçüm yapamalarıdır. Seçici ölçüm yapabilen sensörler, ELISA testi gibi, özel kimyasal etiketler yardımıyla yüzeyi fonksiyonel duruma getirerek algılama yaparlar. Bu teknik çok pahalıdır ve seçici etiketlerin kısıtlı olmasından dolayı uygulama alanı çok sınırlıdır. Projede önerilen algılama tekniği bu probleme bir çözüm sunmaktadır. Mikro kanal içerisinden iki sıvı laminer olarak akacak ve hidrodinamik olarak belirli bir frekansta modüle edilecektir. Bu modülasyon sayesinde lock-in yükselticisi kullanılarak gürültü seviyesi azaltılıp çok hassas bir algılayıcı yapılacaktır. Bunun yanında laminer olarak akan iki sıvıdan birisi referans olarak kullanılacaktır. Yani referans olarak kullanılan sıvıya göre değişen fiziksel parametre ölçülecektir. Sıcaklık değişimi titreme gibi gürültüler referans sıvı sayesinde yok edilecektir. Bunun yanında referans sıvı seçici algılama yapmaya olanak sağlayacaktır. Bu çalışma literatürde büyük bir eksikliği dolduracaktır.



Şekil 8 Literatürde çalışılmış PDMS tabanlı mikroakışkan sensörlere örnekler.

4. ÖZGÜN DEĞER

Proje önerisinin, özgün değeri (bilimsel kalitesi, farklılığı ve yeniliği, hangi eksikliği nasıl gidereceği veya hangi soruna nasıl bir çözüm geliştireceği ve/veya ilgili bilim/teknoloji alan(lar)ına metodolojik/kavramsal/kuramsal olarak ne gibi özgün katkılarda bulunacağı vb.) ayrıntılı olarak açıklanmalıdır.

DENEYSEL PROJE ÖRNEĞİ

Önerilen projeyi, bu konuda daha önceden yapılmış veya şu anda başka gruplar tarafından yapılmakta olan çalışmalardan farklı kılan yeni teknoloji ve metotları şu şekilde sıralayabiliriz (önerilen metotlar yöntem bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.):

- 1) Mikroakışkan kanallar içerisinde diferansiyel algılama prensibi
- 2) Frekans uzayında ölçüm yapan özgün bir mikroakışkan sensörün geliştirilmesi
- 3) Mikroakışkan kanal içerisinde laminer akış kullanılarak hidrodinamik modülasyon yapılması
- 4) Yüksek hassasiyete sahip yüksek gürültü seviyelerinde çalışabilen mikroakışkan algılayıcıların tasarlanması

Önerilen bu amaçlar bu projeyi diğer çalışmalardan farklı kılmaktadır ve literatüre yeni katkılar sağlayacaktır. Bu projenin getireceği en önemli yenilik, yeni ve özgün bir algılama kavramı geliştirilmesidir. Bu kavram bir çok değişik aygıt ile entegre edilerek farklı sesörler üretilebilir. Bu projede 4 aygıt üzerine odaklanacağız. Tasarlanması planlanan özgün mikroakışkan aygıtları şu şekilde sıralayabiliriz

- 1) Diferansiyel kırınım ağı interferometresi
- 2) Diferansiyel yüzey plazmon sensörü
- 3) Mikrokapasitif mikroakışkan sensör
- 4) Mikroakışkan iletkenlik sensörü

Önerilen mikroakışkan kanal içerisinde hidrodinamik modülasyon prensibi sayesinde tasarlanıp üretilecek özgün sensörler hem bilimsel hem de teknolojik açıdan çok önemlidir. Bilimsel olarak önemli olmasının nedeni mikroakışkan kanallarda içerisindeki dinamik sistemler, özellikle laminer akış ara yüzeyi çok az çalışılmış bir konudur. Burada çok zengin bir akışkanlar fiziği çalışma imkanı vardır. Özellikle mikrokanallar içerisindeki doğrusal olmayan (nonlinear) etkiler bilinmemektedir. Önerilen bu proje teknolojik açıdan da çok önemlidir. Bu proje kapsamında özgün bir sensör kavramı ortaya konulmaktadır. Bu kavram birçok farklı alt gruplara uygulanabilir ve çok zengin bir araştırma konusu doğuracaktır.

Önerilen projede temel bilim açısından özgün değerler içermektedir. Mikrokanallar içerisindeki sıvıların hidrodinamiği büyük boyutlardaki sıvılara göre farklılıklar göstermektedir. Mikrokanallar içerisinde sıvılar linear olarak hareket etmelerinden turbulans ve nonlinear etkiler görünmez. Fakat önçül çalışmalarda elde ettiğimiz sonuçlara göre laminar akış arasını doğrusal olmayan özellikler göstermektedir. Proje çerçevesinde bu doğrusal olmayan etkiler araştırılacaktır. Bu doğrusal olmayan etkiler bilimsel olarak çalışılmamış konulardır.

Önerilen bilimsel soruların araştırılması ve teknolojik problemlerin çözülmesi uluslararası hakemli dergilerde yayınlanma potansiyelinin çok yüksek olmasının yanısıra çok yeni bir teknoloji olduğu için patentlenip ticarileşme potansiyeli de oldukça yüksektir.

Geliştirilecek olan algılayıcılar daha önce yapılmamış ve yeni tür bir algılayıcı sınıfı olacağı için yeni ve özgün teknolojilerin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Bu projede önerilen tüm algılayıcılar için patent başvurusu yapılacaktır.

TEORİK PROJE ÖRNEĞİ

Bu projenin en büyük özgün değeri hızla gelişmekte olan ve geleceğin teknolojilerine ışık tutması beklenen plazmon-egziton eşleşmesine sahip Kondo korelasyonlu nanoyapılar üzerine ülkemizde ve dünyada yapılacak ilk teorik çalışma olmasıdır. Literatür özetinde de detaylı olarak açıklandığı gibi plazmon-egziton eşleşmesine sahip nanoyapılarda elektron etkileşimleri daha önceki çalışmalarda ya tamamen ihmal edilmiş ya da ortalama alan düzeyinde ele alınmıştır ve elektron spini gözardı edilmiştir. Kuantum noktacıkları ve atomlar gibi küçük bir fiziksel alana sıkışmış nanoyapılarda bu yaklaşımlar gerçekçi değildir. Bu projede elektron-elektron etkileşimlerini olması gerektiği gibi güçlü kabul ederek Kondo korelasyonlarının ortaya çıkması durumunda plazmon-egziton eşleşmesinin optik ve elektronik özellikleri nasıl etkilediğini ilk kez araştırmayı planlıyoruz. Kullanacağımız metod, daha önce yürütücünün doktora çalışmalarında öncülüğünü yaptığı gerçek zaman Green fonksiyonları'na dayalıdır. Bu teknik, önerilen sistemde plazmon ve egzitonları da içine alacak şekilde genişletilecektir. Detayları yöntem kısmında ayrıntılı olarak belirtilen bu metod da dünyada sadece yürütücü tarafından geliştirilip kullanılmakta olup, genellenmiş ve genişletilmiş haliyle de tamamen benzersiz ve çok güçlü bir metod olma özelliği taşımaktadır. Kısacası, konu ve teknik olarak benzersiz bu projenin desteklenmesi ülkemizin bu alanda uluslararası alanda söz sahibi olabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, projemizin bir başka önemi ise, dünyadaki bilimsel çevrelerde son dönemde revaçta olan bu disiplinin ülkemizde tanıtılması ve yaygınlaştırılması noktasında faydalı olacak olmasıdır. Bu bağlamda, projemiz süresince elde edilecek bilimsel verileri ve geliştireceğimiz yeni hesaplama metodlarını gerek ulusal toplantılar gerekse de değişik üniversitelerimizde verilecek seminerlerle ülkemiz bilim dünyasına tanıtmak istiyoruz. Böylece, son 20 yılda nanoyapılar disiplininde batı bilim dünyasının katedilen mesafelerin ve keşiflerin, az da olsa ülkemiz bilim camiasına tanıtılmasını amaçlıyoruz.

Elde edeceğimiz sonuçları uluslararası bilimsel konferanslarda sunarak ülkemizin ve yeni kurulan üniversitemizin tanıtımına da katkı sağlamak en önemli amaçlarımızdan birisini teşkil etmektedir. Bunun ülkemizin bilimsel bir cazibe merkezi haline getirilerek beyin göçünün tersine çevrilmesi yoluyla yurtdışındaki başarılı bilim insanlarımızın ülkemize çekilmesi açısından büyük önem arzettiği kanaatindeyiz.

5. YÖNTEM

Projede uygulanacak yöntem ve araştırma teknikleri (veri toplama araçları ve analiz yöntemleri dahil) ilgili literatüre atıf yapılarak (gerekirse ön çalışma yapılarak) belirgin ve tutarlı bir şekilde ayrıntılı olarak açıklanmalı ve bu yöntem ve tekniklerin projede öngörülen amaç ve hedeflere ulaşmaya elverişli olduğu ortaya konulmalıdır.

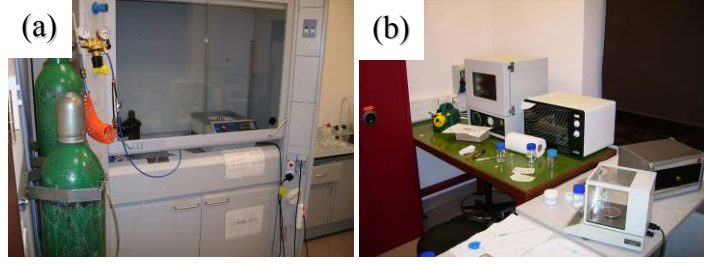
Projede uygulanacak yöntem(ler)le ilerleme kaydedilememesi durumunda devreye sokulacak alternatif yöntem(ler) de (B planı) belirlenerek açık bir şekilde ifade edilmelidir.

DENEYSEL PROJE ÖRNEĞİ

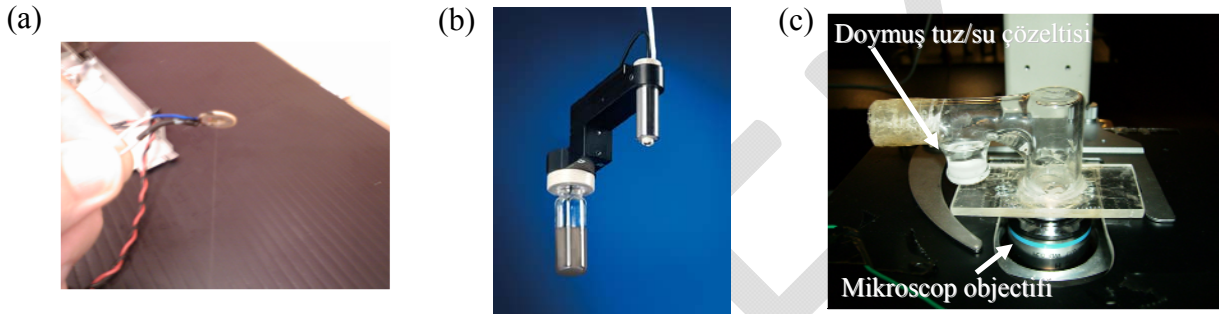
Süperhidrofobik Yüzey Hazırlığı ve Mikrodamlı Üretimi:

Deneylerde süperhidrofobik yüzey üzerinde duran tuz/su (tipik olarak NaCl/su) veya gliserol/su mikrodamları kullanılacaktır. Süperhidrofobik yüzeyler hidrofobik kaplamalı silika nanoparçacıkların (Evonik, Aerioxide LE1, LE2) lamellerin üzerine spin kaplama yöntemi ile kaplanması ile elde edilir. Nanoparçacıkların 10-50 mg/ml'lik etanol ya da toluen çözeltileri lamelin üzerine damlatıldıktan sonra lamel 2000 rpm'de 1 dakika boyunca döndürülür. Spin kaplamayı takiben gerçekleştirilen fırınlamadan sonra süperhidrofobik yüzey elde edilir. Laboratuvarımızda kaplamada kullanılan cihazlar (spin kaplayıcı, vakumlu fırın, hassas tartı, çekerocak) ve nanoparçacıklar mevcuttur (Şekil 3). Bu yüzeylerin hazırlanması laboratuvarımızda rutin olarak gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan yüzeylerin üzerinde duran milimetrik su damlalarının kontak açıları 150°-160° aralığında ölçülmektedir (180° ideal bir küreyi ifade eder).

Mikrodamların üretiminde laboratuvarımızda mevcut bulunan ultrasonik bir püskürtücü veya tek mikrodamla üretebilen bir mikrodispenser sistemi kullanılacaktır. Ultrasonik püskürtücü ile yarıçapları birkaç mikrometre ile yaklaşık 30 μ m arasında değişen birçok mikrodamları aynı anda hazırlanabilir. Mikrodispenser sistemi ise 50 μ m'lik çıkış çapına sahiptir ve bu çapa sahip mikrodamların tek tek üretilmesini sağlar. Mikrodamla püskürtme işlemi tamamlandıktan sonra üzerinde mikrodamlar bulunan yüzey bir nem odacığına hava geçirmeyecek şekilde yerleştirilir (Şekil 4c). Nem odacığının nemi doymuş bir tuz/su çözeltisi ile sabitlenmektedir. Kullanılan tuza göre odacığın bağıl nemi %97 (K_2SO_4), %84 (KCl) veya %75 (NaCl) değerlerinde sabitlenebilmektedir. Nem odacığını içinde birkaç saat bekledikten sonra mikrodamlar kararlı boyutlarına ulaşır.



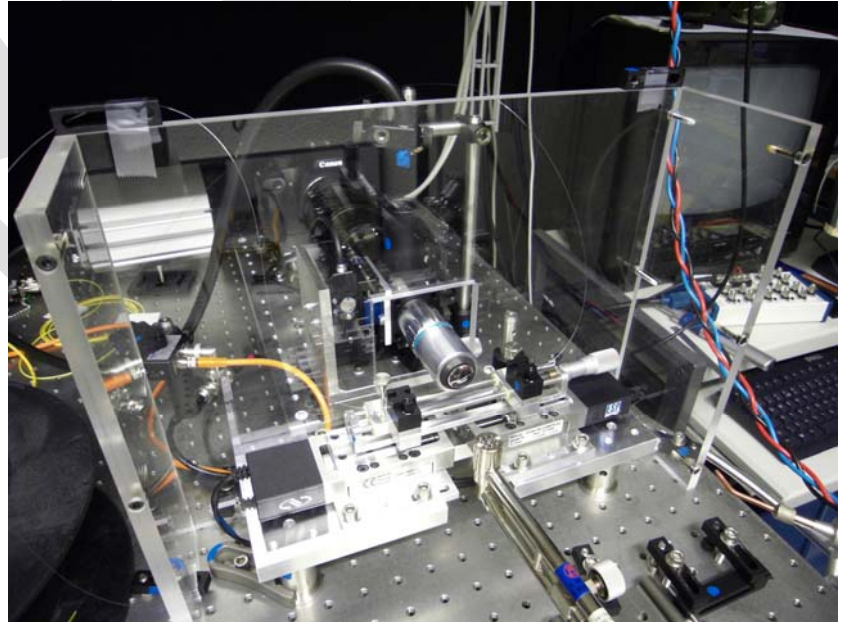
Şekil 3: Koç Üniversitesi Nano-Optik Araştırma Laboratuvarı örnek hazırlama odasından görünüm.(a) Spin kaplama aygıtını bulunduran çeker ocak (b) Örnek hazırlamada kullanılan vakumlu fırın.



Şekil 4: (a) Ultrasonik püskürtücü. (b) Tek mikrodamla üretebilen mikrodrop mikrodispenser sistemi. (c) Mikrodamları ve doymuş bir tuz/su çözeltisini içeren nem odacığı.

İnceltmiş Fiber Hazırlığı:

İnceltmiş optik fiber hazırlığı ve inceltmiş optik fiber ile mikrodamların arasında optimum optik bağlaşmanın sağlanması projenin önemli deneysel adımlarını oluşturur. Optimum optik bağlaşmaya ulaşılması için inceltmiş optik fiber çapının 2 numaralı referansta detaylandırılan faz-uyumu koşullarını sağlaması gereklidir. Kullanılacak 5-100 μ m yarıçapındaki mikrodamlar için bu 1-2 μ m'lik inceltmiş optik fiber yarıçapına ulaşılması anlamına gelir. Kontrollü ve tekrar edilebilir bir şekilde inceltmiş optik fiber üretimi protokollerinin geliştirilmesi projenin iş paketlerinden biri olacaktır. İnceltmiş optik fiber üretimi için oksijen kaynağına temel alan bir alev üretici kullanılacaktır. Optik fiber orta noktadan ısıtılırken iki yöne doğru motorize hareket sehparıyla esnetilir. Bu esnada fiberin optik transmisyonu bir fotodiyot ile ve çapı bir mikroskop objektifi ve kamera ile ölçülür. Denemelerde uygun alev miktarı, alev üreticinin fibere göre olan konumu ve fiber çekme hızı tam olarak belirlenecektir. ETH Zürih Üniversitesi'nde Prof. Dr. Ataç İmamoğlu'nun ve Bilkent Üniversitesi'nde Yrd. Doç. Dr. Mehmet Bayındır'ın inceltmiş optik fiber üretiminde ETH Zürih ve Bilkent Üniversitesi'nde oluşturulan bilgi birikimi kullanılacaktır. Bu araştırma gruplarının projeye verebilecekleri destekler proje önerisinin ekindeki destek mektuplarında açıklanmaktadır.

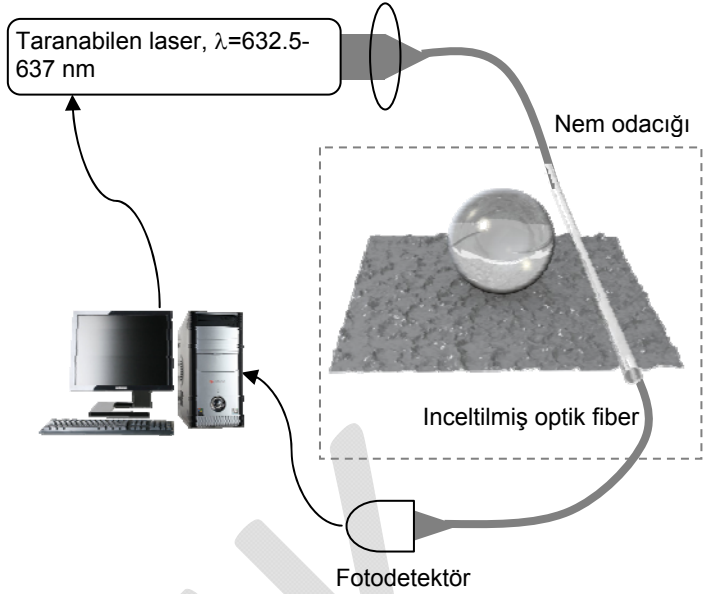


Şekil 5: İnceltmiş optik fiber üretimi için Prof. Dr. Ataç İmamoğlu'nun ETH Zürih Üniversitesi'ndeki araştırma grubunda kurulan deneysel düzenek.

Optik Deneysel Düzenegi:

Süperhidrofobik yüzey üzerinde duran mikrodamların ultrayüksek kaliteli fışıldayan galeri modlarını (FGM'lerini) inceltmiş fiber ile ölçmek için kullanılacak deneysel düzenek Şekil 6'da gösterilmektedir. Hazırlanan süperhidrofobik yüzeyin üzerine bir tuz/su veya gliserol/su mikrodamlası yerleştirilir. Mikrodamların haciminin sabit tutulması için örnek bir sabit nem odacığında tutulur. Hazırlanan inceltmiş optik fiber mikrodamların yanına piezoelektrik hassas hareket sehpası ile yaklaştırılır. Inceltmiş fiberde taşınan ışık ile mikrodamların optik modları arasındaki bağlaşım miktarı deney sırasında ölçülerek maksimum bağlaşım veren konumlandırma gerçekleştirilir.

Ultrayüksek kalite faktörü ölçümleri çok dar bir spektral genişliğe sahip taranabilen bir laserin inceltmiş fiberdeki transmisyonunun dalgaboyuna göre ölçülmesine dayanır. Transmisyon ölçümlerinde bir fotodetektör kullanılacaktır ve bir bilgisayar ile laser dalgaboyu taranır iken fotodiyotta ölçülen sinyal kaydedilecektir. FGM rezonanslarında taranabilen laserin mikrodamlaya yüksek oranda bağlaşması beklenir. Bunun sonucu olarak da FGM rezonans dalgaboylarında inceltmiş fiberin transmisyonu düşer. Kullanılacak taranabilen laserin spektral genişliği olan 450 kHz FGM'lerde ölçülebilecek en düşük spektral genişliği verir. Bu değer 635 nm civarında bulunan FGMler için 10^9 mertebesine kadar kalite faktörlerin ölçülebileceği anlamına gelir. Deneylerde ölçülmesi beklenen malzeme soğurması ile sınırlı kalite faktörünün en fazla 10^8 olduğu düşünülduğünde bu değer yeterli olduğu görülür (635 nm civarında suyun soğurma katsayısı $\sim 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ dir).



Şekil 6: Ultrayüksek kaliteli FGM'lerin spektroskopisinde kullanılacak optik düzenek.

TEORİK PROJE ÖRNEĞİ

Bu projede evanescent dalgaların ve kuantum görüntüleme tekniklerinin süper-çözünürlük gücünün özel bir sistemde birleştirilerek yeni bir süper-görüntüleme tekniğinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Işık kaynağı olarak N adet tek-foton yayabilen tuzaklanmış atomlar kullanılacaktır. Noktasal bir ışık kaynağı olarak düşünüldüğünde her bir atomdan çıkan elektromagnetik dalga hem yayılan hem de yayılma özelliği olmayan (evanescent) kısımlardan oluşmaktadır. Atomlar görüntülenecek apertürün çok yakınına (dalgaboyu mesafesi kadar) getirildiğinde apertürde kırınıma uğrayan evanescent dalgalar, karşılıklılık (reciprocity) ilkesine göre uzak bölgeye yayılan dalga olarak taşınacaktır. Projenin ilk aşamasında tek bir atomdan yayılan küresel dalga Weyl (expansion) açılımı metoduyla yayılan ve evanescent kısımlara ayrılacaktır. Daha sonra Kirchoff Kırınım Teorisini kullanarak sönümlü (evanescent) kısmın uzak bölgede oluşturduğu alan genişliği hesaplanacaktır. Kirchoff kırınım teorisindeki integraller bilgisayarda sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanacaktır. Bundan sonra iki atom için (N=2) bu alan genlikleri kuantum fiziğinde kullanılan "hangi yol" prensibine göre süperpoz edilip toplam genlik hesaplanacaktır. Daha sonra bu toplam genliğin uzak bölgede konumlandırılmış iki dedektörde, ikinci dereceden eş-zamanlı sinyal fonksiyonu (second-order correlation function) hesaplanacaktır. Burada iki dedektördeki eş-zamanlı sinyal, iki atomdan gelen fotonların herbirinin ayrı ayrı her iki dedektörde eş zamanlı tespit edilmesi demektir. İki atom kaynağı için elde edilen bu sinyal klasik optikte koherent ışık ve tek dedektör kullanılarak elde edilen sinyalle karşılaştırılıp çözünürlüğün ne kadar arttığı tartışılacaktır. Daha sonra aynı işlemler N=4, çift yarıkli apertür ve M yarıkli kırınım izgarası kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bütün bu hesaplamalarda tuzaklanmış atomların apertüre uzaklığı bir parametre olarak değiştirilecektir. Atomların apertür uzaklığı azaldıkça, apertür üzerine düşen sönümlü (evanescent) kısım artacağından, bu kısımdan gelen süper-çözünürlük gücü artacaktır. Diğer taraftan tek-foton yayan atomların sayısı, N, artırıldıkça, fotonların dedektörlerde oluşturacağı kuantum girişim genlikleri artacağından kuantum kaynaklı süper-çözünürlük gücü artacaktır. Toplamda N adet atom kullanıldığında, N adet dedektörde yapılacak eş-zamanlı foton yoğunluk ölçümlerinde elde edilecek çözünürlük gücü $\lambda/2Np$ gibi (koherent ışık kaynakları kullanılarak elde edilen çözünürlük $\lambda/2$ dir) olacaktır. Burada $p \approx \lambda / \epsilon > 1$ ve ϵ atom - apertür uzaklığıdır.

Projede kullanılacak adımlar ve yöntemler aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir:

1. Noktasal bir ışık kaynağının Weyl açılımı metoduyla yayılan ve yayılmayan (evanescent) kısımlara ayrılması: Weyl açılımı integrali:

$$\frac{e^{ikr}}{r} = \frac{ik}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{m} \exp[ik(px + qy + m|z|)] dpdq =$$

$$1001BF-01 Güncelleme Tarihi: 27/05/2013 \quad \frac{1}{2\pi} \iint_{p^2+q^2 \leq 1} \exp[ik(px + qy + m|z|)] dpdq \quad (1)$$

Burada,

$$p^2 + q^2 \leq 1 \text{ için } m = \sqrt{1 - p^2 - q^2},$$

$$p^2 + q^2 > 1 \text{ için } m = i\sqrt{p^2 + q^2 - 1}.$$

2. Yukarıdaki integralde sönümlü (evanescent) kısmın (2) farklı z uzaklıklarında yoğunluk dağılımının incelenmesi: Bu integralin analitik çözümleri olmadığı için bilgisayarda en uygun nümerik metotların geliştirilip hesaplamaların yapılması ve yoğunluk dağılımının grafiklenmesi.
3. Dikdörtgensel bir apertürün ϵ uzaklığına (burada $\epsilon \leq \lambda$) konumlandırılmış tek atom için uzak bölgede Kirchoff kırınım teorisine göre elektrik alan genişliğinin hesaplanması: Bu adımda yukarıda Weyl açılımı yapılmış olan sönümlü (evanescent) dalgalar apertürde kırınımına uğrayarak uzak bölgeye taşınır. Burada uzak bölgedeki elektrik alan genişliği Kirchoff kırınım integrali kullanılarak hesaplanacaktır. Kirchoff kırınım teorisine göre uzak bölgedeki genlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$U(x, y, z) = 2\pi k \frac{z}{r} A\left(k \frac{x}{r}, k \frac{y}{r}\right) \frac{e^{ikr}}{r} \quad (3)$$

Burada $A(u, v)$, sönümlü (evanescent) dalgaların apertür düzlemindeki Fourier spektrumudur. Bu spektrum, dikdörtgensel bir açıklık için yukarıdaki Weyl açılımı metodu kullanılarak apertür bölgesinde elektrik alanın iki boyutlu Fourier integrali alınarak hesaplanacaktır. Şu ana kadarki hesaplamalarımızda aşağıdaki integrali elde ettik:

$$A(u, v) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \int_{-a}^a \int_{-b}^b \frac{e^{ik|\vec{r}-\vec{r}'|}}{|\vec{r}-\vec{r}'|} \Big|_{z=\epsilon} e^{-iux} e^{-ivy} dx dy$$

$$= \frac{k}{2\pi^3} \iint_{p^2+q^2>1} dp dq \frac{e^{-k\sqrt{p^2+q^2-1}}}{\sqrt{p^2+q^2-1}} e^{-ik(px'+qy')} \frac{\sin[(kp-u)a]}{kp-u} \frac{\sin[(kq-v)b]}{kq-v} \quad (4)$$

Yukarıdaki integral içindeki sinc fonksiyonları uzak bölgede elde edilecek elektrik alan dağılımının x yönünde ve y yönünde sırasıyla $\lambda / 2p$ ve $\lambda / 2q$ şeklinde olacağını göstermektedir. Bu, sönümlü (evanescent) dalgaların süperçözünürlük özelliğinin kanıtıdır. Tam dağılımın elde edilebilmesi için yukarıdaki integralin yine nümerik metotlar geliştirilerek hesaplanması gerekmektedir.

4. İki tek-foton kayaklı atomun kuantum girişim etkileri kullanılarak uzak bölgede ikinci dereceden eş-zamanlı foton genliklerinin hesaplanması: Bu aşamada her iki atomdan gelen sönümlü (evanescent) dalga kaynaklı elektrik alan genlikleri kuantum "hangi yol" prensibine göre süperpoz edilip uzak nokta konumlandırılmış iki adet tek-foton dedektörlerinde eş-zamanlı sinyal ölçümleri hesaplanacaktır. Bunun için aşağıdaki ikinci dereceden korelasyon fonksiyonu kullanılacaktır:

$$G^{(2)}(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \propto |U(\vec{r}_1, \vec{R}_1)U(\vec{r}_2, \vec{R}_2) + U(\vec{r}_1, \vec{R}_2)U(\vec{r}_2, \vec{R}_1)|^2 \quad (5)$$

Yukarıdaki ifadede $U(\vec{r}_j, \vec{R}_j)$ atomdan çıkıp i inci dedektöre gelen fotonun elektrik alan genişliğini göstermektedir.

5. Dört atom ve bir dikdörtgensel apertür için dördüncü dereceden eş-zamanlı korelasyon fonksiyonunun hesaplanması: Bu aşamada 1 den 4 e kadar izlenen adımlar takip edilerek hesaplama yöntemlerimiz modifiye edilerek sonuca ulaşılabilecektir. Burada değişen tek şey 4üncü adımda kullanılan 2 dedektör yerine atom sayısı kadar yani 4 dedektör kullanılacak ve dördüncü dereceden eş-zamanlı korelasyon fonksiyonu hesaplanacaktır.

6. M yarıklı ızgara ve N atom kullanılarak uzak bölgede süper-çözünürlüğün hesaplanması:
Bu son aşamada, kullanılan atom sayısı genelleştirilmeye çalışılacak ve basitlik olması için 2 boyutlu bir apertür yerine tek boyutlu M yarıklı bir ızgara görüntülenecek nesne olarak kullanılacaktır. Burada en son aşamada hesaplanacak nicelik N inci deveden korelasyon fonksiyonu olacaktır.

MATEMATİK PROJESİ ÖRNEĞİ

İncelenmek üzere seçilen konu çeşitli yönleri, teorisi ve uygulamalarıyla etkileşim ve kümelenme metotlarıdır. Bu konudaki izlemeyi planladığımız yöntem aşağıdaki gibidir:

$X_i, i = 1, 2, \dots, n$ birbirinden bağımsız olarak bir F dağılımına bağlı olarak R^t 'de üretilmiş olsun. Bu n nokta kümesine karşılık gelen IPDM ise $d_{ij} = d(X_i, X_j)$ olmak üzere $D(X) = (d_{ij})$ matrisidir. $d(\cdot, \cdot)$ metrik bir uzaklık ölçütü olduğunda $D(X)$ matrisi oldukça spesifik bir özellik gösterir, çünkü $d(\cdot, \cdot)$ uzaklığı metrik aksiyomlarını sağladığı için $D(X)$ matrisinin elemanları negatif olamazlar, matris simetriktir (yani $d_{ij} = d_{ji}$), diyagonal sıfırlardan oluşur ve matrisin elemanları üçgen eşitsizliğini sağlar.

Öncelikle rassal olarak türetilmiş benzer ölçekteki $n \times n$ matrislerle $D(X)$ 'in farklarına odaklanılacaktır. Bu bağlamda IPDM

matrisinin sütunları yeni bir değişken vektörleri (R^n 'de) gibi düşünülüp IPDM üzerine PCA gibi boyut indirgeme metotları uygulanacaktır. IPDM'in bu şekilde verdiği sonuçların hangi uzaklık aksiyomuna daha çok bağlı olduğu belirlenecektir. Bu amaç için (i) verilen bir IPDM'den başlayıp aksiyomları teker teker bozacak şekilde elemanları değiştirebiliriz veya (ii) rassal bir matristen başlayıp aksiyomları teker teker sağlayacak şekilde değişiklikler yapabiliriz. Biz (i)'de belirtilen yöntemi uygulamayı planlıyoruz. Burada aksiyomları sıra ile ikili gruplar halinde de inceleyeceğiz.

--- IPDM'in PCA ile analizinin F dağılımına nasıl bağlı olduğunu belirlemek için çeşitli F dağılımları seçilip incelenecektir (örneğin normal dağılım, düzgün dağılım, vb.)

--- IPDM'in PCA ile analizinin ilk noktaların boyutuna nasıl bağlı olduğunu belirlemek için çeşitli t değerleri seçilip incelenecektir (örneğin t=1,2,3 vb.)

--- IPDM'in PCA ile analizinin $d(\cdot, \cdot)$ metriğine nasıl bağlı olduğunu belirlemek için ise Öklid uzaklık ölçütünün yanı sıra, Manhattan ve p-norm uzaklık ölçütleri de incelenecektir.

Ayrıca $Y_i, i = 1, 2, \dots, m$ birbirinden bağımsız olarak G dağılımına bağlı olarak R^t 'de üretilmiş olsun. Eğer

$Z = \{X_1, X_2, \dots, X_n, Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ ise, noktalar iki farklı gruptan gelmektedir. F ve G'nin destek kümelerinin birbirlerine göre konumları X ve Y noktalarının tekli kümelenme mi yoksa ikili etkileşim mi gösterdiklerini belirleyecektir. Z'ye bağlı IPDM

$D(Z)$ olsun. $D(Z)$ 'nin PCA vb metotlarla incelenmesi de etkileşim ve kümelenmenin tespiti için yeni metotlar belirleyecektir.

Bu şekilde k tane farklı dağılımdan nokta kümesi verildiğinde, tüm noktaların birleştirildiğinde elde edilen IPDM'in analizi de kümelenme ve grup sayısını kestirme bakımından yararlı olabilecektir.

IPDM'in PCA ile analizinde, temel bileşenler arasındaki ilişkiler ve faktör yüklemeleri irdelenecektir, yani ilk kaç temel bileşenin IPDM sütunları arasındaki varyasyonu açıklamaya yeterli olacağı belirlenecektir, ayrıca PCA sonrası kovaryansın öz-değerleri arasındaki sıralama ve ilişkiler araştırılacaktır.

Uzaklığa bağlı kontinjans tabloları ise q sınıf için $q \times q$ bir matris vermektedir ki, diyagonaldeki beklenenden fazla olan değerler tek-sınıflı kümelenmeyi, diyagonal dışındaki beklenenden fazla değerler ise iki- veya çok-sınıflı etkileşim dolayısıyla çok-sınıflı kümelenmeyi ifade etmektedir. Bu kontinjans tablolarından ayrıca simbiyoz, simetri, niş özgülüğü, vb etkileşim olguları da incelenebilecektir. Bu kontinjans tablosunun t_{ij} 'inci elemanı i sınıfından noktaların kaçına j sınıfından olan bir noktanın en yakın olduğunu belirtir. $q \geq 3$ için t_{ij} 'lerin asimptotik dağılımını bulmayı planlıyoruz.

Ripley'in K fonksiyonu ve ilgili metotlarda bir noktaya belirli bir uzaklıktaki nokta sayılarının beklenenden ne kadar fazla olduğu belirlenmektedir. Fakat bu uzaklıktan küçük uzaklıklar için elde edilen noktaların kümülatif etkisi dolayısıyla bu fonksiyonların sonuçları tam güvenilir olmamaktadır. Stoyan'ın g fonksiyonu Ripley'in K fonksiyonunun sahip olduğu eksiklikleri gidermek için belirli bir uzaklıktaki fazla nokta sayısı yerine nokta sayısındaki değişim oranına bağlı olarak tanımlanmıştır. Fakat bu daha küçük uzaklıkların sebep olduğu kümülatif etki Diggle'in D fonksiyonunda ve Fhat ve Ghat fonksiyonlarında da bulunmaktadır. Biz bu çalışmada bu fonksiyonları da Stoyan'ın g fonksiyonuna öykünerek değişim oranı şeklinde tanımlayıp performanstaki değişiklikleri inceleyeceğiz.

6. PROJE YÖNETİMİ, EKİP VE ARAŞTIRMA OLANAKLARI

6.1 PROJE YÖNETİMİ

6.1.1. YÖNETİM DÜZENİ (İş Paketleri (İP), Görev Dağılımı ve Süreleri)

Projede yer alacak başlıca iş paketleri, her bir iş paketinin kim/kimler tarafından ne kadarlık bir zaman diliminde gerçekleştirileceği hakkındaki bilgiler aşağıda yer alan İş-Zaman Çizelgesi doldurularak verilmelidir. Her bir iş paketinde görev alacak personelin



niteliği (yürütücü, araştırmacı, danışman, bursiyer, yardımcı personel) belirtilmelidir. Gelişme ve sonuç raporu hazırlama aşamaları proje çalışmalarına paralel olarak yürütülmeli ve ayrı bir iş paketi olarak gösterilmemelidir.

Projede takip edilecek iş paketleri:

- 1 Grafen sentezlenmesi
- 2 Transfer-printing işlemleri
- 3 Süperkapasitör üretimi ve optimizasyonu
- 4 Süperkapasitörlerin optik ve elektriksel karakterizasyonu
- 5 Electrolyte ortamın optimizasyonu
- 6 Electrolytic kapasitör üretimi
- 7 Electrolytic kapasitörlerin elektriksel ve optik karakterizasyonu
- 8 Ferroelektrik kapasitörlerin üretilmesi
- 9 Farklı uygulamaların araştırılması
- 10 Ara ve sonuç raporlarını hazırlanması

Ş-ZAMAN ÇİZELGESİ (*)

İP No	İP Adı/Tanımı	Kim(ler) Tarafından Yapılacağı	AYLAR																											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1	Stokiyometrik-Olmayan BiTel için Kristal/Kusur Yapısı Optimizasyonları	Bursiyer #1 Yürütücü	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Stokiyometrik-Olmayan BiTel için Spintronik Özelliklerin Belirlenmesi	Bursiyer #1 Yürütücü								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	"Substitutional" olarak Katılanmış BiTel için Kristal/Kusur Yapısı Optimizasyonları	Araştırmacı Yürütücü	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	"Substitutional" olarak Katılanmış BiTel için Spintronik Özelliklerin Belirlenmesi	Araştırmacı Yürütücü								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	"Interstitial" olarak Katılanmış BiTel için Kristal/Kusur Yapısı Optimizasyonları	Bursiyer #2 Araştırmacı Yürütücü	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	"Interstitial" olarak Katılanmış BiTel için Spintronik Özelliklerin Belirlenmesi	Bursiyer #2 Araştırmacı Yürütücü								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

6.1.2. BAŞARI ÖLÇÜTLERİ VE RİSK YÖNETİMİ

Projenin tam anlamıyla başarıya ulaşmış sayılabilmesi için **İş-Zaman Çizelgesinde** yer alan her bir ana iş paketinin hedefi, başarı ölçütü (ne ölçüde gerçekleşmesi gerektiği) ve projenin başarısındaki önem derecesi aşağıdaki **Başarı Ölçütleri Tablosu**'nda belirtilmelidir.

BAŞARI ÖLÇÜTLERİ TABLOSU (*)

İP No	İş Paketi Hedefi	Başarı Ölçütü (% , sayı, ifade, vb.)	Projenin Başarısındaki Önemi (%)**
1	Deşarj lambaların zamana dayalı ölçümleri ve rezonant etkilerin analizi	Rezonant etkilerin uygulanan voltaj ve anot-katot arası mesafeye bağlı olarak nasıl değiştiği anlamak	30
2	Deşarj lambalar içinden geçen atmalı THz elektrik alanın simüle edilmesi	Zaman uzayında GDD içinden geçen THz atım elektrik alanın simüle edilmesi ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması	20
3	250-375GHz, 1mW üretici sistemin kurulumu ve testleri	250-375GHz frekans aralığında 1mW üzeri güç üretebilmesi ve 1GHz hassasiyetle frekansın ayarlanabilmesi	20
4	Deşarj ambaların kurulan 250-375GHz, 1mW sistem ile karakterizasyonları	GDD yapıların bu frekans aralığında gelen sinyal gücü ve modüle frekansına göre tepkilerini anlamak ve rezonant etkilerin algılamadaki önemini açıklamak	30

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

(**) Sütun toplamı 100 olmalıdır.

Projenin başarısını olumsuz yönde etkileyebilecek riskler ve bu risklerle karşılaşıldığında projenin başarıyla yürütülmesini sağlamak için alınacak tedbirler (**B Planı**) ilgili iş paketleri belirtilerek ana hatlarıyla aşağıdaki **Risk Yönetimi Tablosu**'nda ifade edilmelidir.

RİSK YÖNETİMİ TABLOSU (*)

İP No	En Önemli Risk(ler)	B Planı
1	Zamana dayalı ölçüm sisteminde kullanılan lazerlerde çıkabilecek sorunlar	Bilknet-UNAM'da kurduğumuz veya laboratuvarımızda diğer geliştirdiğimiz sistemler ile THz – GDD ölçümlerini gerçekleştirmek
3	250-375GHz sisteminden çıkan tüm frekanslarda en az 1mW güç çıkartamamız	GDD-lock-in ölçüm çazı arası plazmadaki akımı daha hassas bir şekilde ölçebilmek için akım yükselteç ile birlikte daha hassas bir elektronik ölçüm devresi hazırlamak

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

6.2. PROJE EKİBİ

6.2.1. PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN DİĞER PROJELERİ VE GÜNCEL YAYINLARI

Proje yürütücüsünün TÜBİTAK, üniversite ya da diğer kurum/kuruluşların desteği ile tamamlamış olduğu projeler ile şu sırada yürütmekte olduğu veya destek almak için başvurduğu projeler hakkında aşağıdaki tablolarda yer alan bilgiler verilmelidir. Proje değerlendirme süreci sırasında destek kararı çıkması ve/veya yeni bir başvuru daha yapılması durumunda derhal TÜBİTAK'a yazılı olarak bildirilmelidir.



PROJE YÜRÜTÜCÜSÜNÜN YAPTIĞI YAYINLAR (*)

Bu bölümde proje yürütücüsünün yayın listesi sunulmuştur. İncelemede olan eserler yazılmamıştır.

Yazar(lar)	Makale Başlığı	Dergi	Cilt/Sayı/Sayfa	Tarih

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

6.3. ARAŞTIRMA OLANAKLARI

Bu bölümde projenin yürütüleceği kurum/kuruluş(lar)da var olup da projede kullanılacak olan altyapı/ekipman (laboratuvar, araç, makine-teçhizat vb.) olanaklar aşağıdaki tabloda belirtilmelidir.

MEVCUT ARAŞTIRMA OLANAKLARI TABLOSU (*)

Mevcut Altyapı/Ekipman Türü, Modeli (Laboratuvar, Araç, Makine-Teçhizat vb.)	Mevcut Olduğu Kurum/Kuruluş	Projede Kullanım Amacı

(*) Tablodaki satırlar gerektiği kadar genişletilebilir ve çoğaltılabilir.

7. YAYGIN ETKİ

7.1. PROJEDEN BEKLENEN YAYGIN ETKİ

Proje başarıyla gerçekleştirildiği takdirde projeden elde edilmesi öngörülen/beklenen yaygın etkilerin (bilimsel/akademik, ekonomik/ticari/sosyal, araştırmacı yetiştirilmesi ve yeni projeler oluşturulması) neler olabileceği diğer bir ifadeyle projeden ne gibi çıktı, sonuç ve etkilerin elde edileceği kısa ve net cümlelerle aşağıdaki tabloda belirtilmelidir.

Bilimsel/Akademik (Makale, Bildiri, Kitap)	Grafen konusu potansiyel uygulamalarından dolayı özellikle son zamanlarda hız kazanmıştır. Optik uygulamalar elektronik uygulamalara göre çok daha ümit verici görünmektedir. Bu konuda yapılan araştırmalar prestijli bilimsel dergilerde yayınlanma potansiyeline sahiptir. Bu konuda çok sayıda yüksek profilli bilimsel yayın ve konferans bildirisi yayınlamayı planlıyoruz.
Ekonomik/Ticari/Sosyal (Ürün, Prototip Ürün, Patent, Faydalı Model, Üretim İzni, Çeşit Tescilli, Spin-off/Start-up Şirket, Görsel/İşitsel Arşiv, Envanter/Veri Tabanı/Belgeleme Üretimi, Telif Konu Olan Eser, medyada Yer Alma, Fuar, Proje Pazarı, Çalıştay, Eğitim vb. Bilimsel Etkinlik, Proje Sonuçlarını Kullanacak Kurum/Kuruluş, vb. diğer yaygın etkiler)	Çalışma sonucu geliştirilecek yöntemler ve elde edilecek bilgiler sayesinde THz görüntüleme sistemleri için ucuz, kompakt bir alternatif olan oda sıcaklığında çalışan GDD yapılarının kullanım koşulları belirlenecektir. Savunma/Güvenlik alanında, EYP tespiti, mayın tespiti, intihar saldırılarına yönelik canlı bomba tespiti, gizli silah/kesici madde tespiti, biyolojik/kimyasal savaş maddesi tespiti uygulamalarında kullanıldığı gibi, Sivil alanda da medikal uygulamalar (ölü/kanserli doku tespiti, dişte çürük analizi, deride yanık derecelendirmesi), yapısal görüntüleme (kusur, boşluk tespiti) uygulamalarında kullanılmaktadır.

	 <p>Şekil 12. THz görüntüleme tekniklerinin dünya çapında ticari olarak uygulandığı bazı alanlar: Güvenlik, kusur tespiti, dişlerde çürük tespiti gibi.</p> <p>Yukarıda gösterilen tüm uygulamalarda GDD detektörler veya bu detektörlere benzer yapılar etkili olabileceği için ürün, patent, start-up gibi teknolojik çalışmaların bu proje çalışması sonucu veya takibinde gerçekleşmesi beklenilmektedir.</p>
<p>Araştırmacı Yetiştirilmesi ve Yeni Proje(ler) Oluşturma (Yüksek Lisans/Doktora Tezi, Ulusal/Uluslararası Yeni Proje)</p>	<p>Bu projede çalışacak doktora ve yüksek lisans öğrencileri, nanoteknoloji, nanofotonik, elektronik konularını öğrenmiş, bu alanlara hakim, yeni buluşlar yapabilecek, dünya çapındaki yenilikleri takip edebilen insan gücünü oluşturacaktır. Gelişmekte olan ülkelerde en öncelikli yatırım insan gücüne yapılan yatırımdır. Bu proje kapsamında uzman doktora öğrencisi ve doktora sonrası araştırmacı yetiştirilecektir.</p> <p>Bu proje içerik olarak temel fizik projesidir. Projenin amacı grafenin optik özelliklerinin elektrik alan ile kontrol edilmesidir. Bu çok temel bir teknik olacaktır ve yeni uygulama alanları bulabilir. Özellikle display teknolojileri ve LED teknolojilerinde farklı şekillerde kullanılma potansiyeline sahiptir. Bu projede önerilen tekniği titiz bir şekilde incelenebileceği bir platform geliştirmek ve bu bulguları yeni nanofotonik teknolojisinde kullanılabilir duruma getirmektir. Bu projede çalışacak öğrenciler temel fizik eğitimi almış öğrenciler olacaktır. Bu proje sayesinde öğrenciler temel fizik bilgilerini son derece uygulamalı mühendisliğe çok yakın bir alanda kullanma fırsatı bulacaklardır. Dolayısıyla temel bilimler ile mühendislik arasındaki kopukluğu doldurabilecek bilgi ve tecrübeyi kazanacaklardır. Ülkemizde bu tarz bir bilgi birikimine sahip insan gücü çok sınırlıdır. Bu proje bu konuda katkı sağlayacaktır.</p>

BAŞVURU FORMU EKLERİ

EK-1: KAYNAKLAR
EK-2: BÜTÇE VE GEREKÇESİ

(* EK-1 ve EK-2 hariç toplam 20 sayfayı geçen proje önerileri değerlendirmeye alınmadan iade edilir.