

Optiksel Parametrik Salıncı ve Optiksel Parametrik Yükseltici Sistemler*

Şule ATEŞ

Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Kampüsü KONYA

Özet: Bu çalışmada, Optiksel Parametrik Salıncı'ların (OPO) ve Optiksel Parametrik Yükseltici'lerin (OPA) yapıları ve çalışma prensipleri ile ilgili bir literatür araştırması yapılmıştır. Başlangıçta bu aygıtların çalışma prensiplerinin kaynağını oluşturan lineer olmayan optiğin temel içeriği ortaya konulmuştur. Daha sonra OPO ve OPA sistemlerinin tarihi gelişimleri, yapıları, optik özellikleri, çalışma kriterleri ve bu sistemlerde kullanılan kristaller anlatılmıştır. Ayrıca ayarlanabilir radyasyon üretmek için önemli ölçüde kullanılan bu sistemlerin bilim ve teknolojideki öneminden, kullanım alanlarından bahsedilmiş, aralarındaki farklılıklar ortaya konularak OPO sistemlerinin OPA sistemlerinden daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nonlineer optik, Optik parametrik salıncı (OPO), Optik parametrik yükseltici (OPA)

Optical Parametric Oscillator ve Optical Parametric Amplifier Systems

Abstract: In this study, a literature servay on the structure and operation principles of the Optical Parametric Oscillators (OPO's) and Optical Parametric Amplifiers (OPA's) has been carried out. Firstly, the basic contents of nonlinear optics forming the operation principles of this devices have been produced. Later, it has been expressed the historical developments, structures, optical properties, operation criteria of the OPO and OPA systems and the crystals used in these systems. Moreover, it has been mentioned from the application areas, the scientific and techonologic importances of the OPO and OPA systems used significantly to produce tunable radiation and it has been concluded to be more advantageous than the OPA systems of the OPO systems by presenting the differences between both of them.

Key Words: Nonlinear optics, Optical parametric oscillator (OPO), Optical parametric Amplifier (OPA)

Giriş

Günümüz optik biliminde laserler ve dolayısıyla optik parametrik aygıtlar, özellikle Optik Parametrik Osilatör (OPO)'ler oldukça önemli bir yer tutmaktadırlar. Yeterli yoğunluğa sahip monokromatik bir ışık malzeme üzerine geldiğinde, çıkan demet, gelen demetin frekansından oldukça farklı frekanslara sahip olacaktır. Bu, lineer olmayan optik etkinin bir örneğidir. Laserlerle, böyle etkileri incelemek için gerekli yoğunluk seviyelerine ulaşmak kolaydır [1]. Laserler, temel olarak bir yükseltgime ortamında kuantumlanan enerji seviyeleri arasındaki etkilemeli salma içeren koherent radyasyonun kesikli-dalgaboyu kaynaklarıdır. Yüksek güçte

* Bu makale Yüksek Lisans tezinin bir parçasıdır.
suleates@selcuk.edu.tr

laserlerin en temel uygulamalarından biri; Optik Parametrik Salıncı (OPO) ve Optik Parametrik Yükseltici (OPA) için bir pompa kaynağı olarak kullanılabilirlerdir [2].

Optik parametrik aygıtlar, laser radyasyonunu üç-foton parametrik süreç ile sürekli ayarlanabilir spektral aralığa dönüştürürler. Optik parametrik aygıtlardan OPO ve OPA, bir ortamın lineer olmayan tepkisine dayalı olarak çalışırlar. Dolayısıyla OPO ve OPA, gelen dalganın frekansından farklı frekanslarda yeni koherent dalgalar üretmek için, geniş bir spektral bölge üzerinde ayarlanabilir radyasyon üretmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Bir malzemede lineer olmayan etkileşim ile yeni dalga boylu ışık üretiminin teorik çalışması 1962'de Kingston [3], Kroll [4], Akhmanov ve Khokhlov [5], Armstrong ve çalışma arkadaşları [6] tarafından ortaya konulmuştur. Başlangıçta laser sistemlerinde yüksek güçte pompa demeti üretmenin yetersizliği sebebiyle bir OPO sistemi geliştirilmiştir. OPO'nun ilk deneysel kanıtlanması 1965'te Giordmaine ve Miller [7] tarafından yapılmıştır. Pratik gelişmeler, uygun lineer olmayan optik kristallerin uzun süre eksikliği sebebiyle elde edilememiştir. Lineer olmayan optik malzeme araştırmalarındaki son gelişmeler ilgiyi tekrar OPO'ya yönlendirmiş ve OPO teknolojisinde hızlı gelişmeler kaydedilmesine neden olmuştur [8]. OPO ve OPA sistemleri, günümüzde endüstride, haberleşmede, tıpta, askeri alanda, bilimsel araştırmalarda geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu sebeple bu aygıtlar pek çok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Bu çalışmada, optik parametrik aygıtların en önemlilerinden olan OPO ve OPA sistemlerinin yapıları ve çalışma prensipleri, kullanım alanları incelenmiş, birbirlerine göre avantajları, dezavantajları araştırılmıştır.

Materyal ve Metot

Lineer olmayan optik, ışığın varlığı ile bir malzeme sisteminin optiksel özelliklerinin değişikliğinin bir sonucu olarak meydana gelen olayların incelenmesidir [9]. Lineer olmayan optik, laserin icadından beri önemli olan bir alandır ve ışığın doğasını anlamamızı sağlar [10]. Lineer olmayan optiksel olgudaki lineerlikten uzaklık kavramı, malzemenin uygulanan optiksel alana tepkisinden kaynaklanır. Uygulanan optiksel alana bir malzemenin elektromanyetik tepkisi, birim hacim başına düşen dipol moment olarak veya uygulanan optiksel alan \vec{E} 'nin büyüklüğüne bağlı olan malzemenin kutuplanması \vec{P} olarak tanımlanabilir. Geleneksel optik (lineer optik) durumunda indüklenmiş kutuplanma, elektrik alan kuvvetine lineer olarak

$$\vec{P}(t) = \chi^{(1)} \vec{E}(t) \quad (1)$$

biçiminde bağlıdır. Burada $\chi^{(1)}$, lineer alınganlık olarak bilinen orantılılık sabitidir. Lineer olmayan optikte, lineer olmayan optiksel tepki

$$\begin{aligned} \vec{P}(t) &= \chi^{(1)} \vec{E}(t) + \chi^{(2)} \vec{E}^2(t) + \chi^{(3)} \vec{E}^3(t) + \dots \\ &\equiv \vec{P}^{(1)}(t) + \vec{P}^{(2)}(t) + \vec{P}^{(3)}(t) + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

ifadesi ile verilir. $\chi^{(2)}$ ve $\chi^{(3)}$ nicelikleri sırasıyla ikinci ve üçüncü mertebeye lineer olmayan optiksel alınganlık olarak bilinir.

İkinci mertebeden lineer olmayan kutuplanma

$$\vec{P}^{(2)}(t) = \chi^{(2)} \vec{E}(t)^2$$

olarak, üçüncü mertebeden lineer olmayan kutuplanma ise

$$\vec{P}^{(3)}(t) = \chi^{(3)} \vec{E}(t)^3$$

olarak tanımlanır [11]. Lineer olmayan optik alınganlıklar, bir ortamın karakteristik özellikleridir ve ortamın elektronik ve moleküler yapısına bağlıdır [12]. $\chi^{(2)}$ ikinci mertebeye alınganlık, ikinci harmonik üretim (SHG), toplam ve fark frekans karışımı, lineer elektro-optik (Pockels) etki, optik

parametrik üretim ve yükseltgeme gibi lineer olmayan optik süreçlere neden olur. $\chi^{(3)}$ üçüncü merteye lineer olmayan alınganlık, optik Kerr etkisi, üçüncü harmonik üretim gibi olaylara neden olur [13]. Malzeme sisteminin şiddetli laser alanına karşı gösterdiği tepkideki lineerlikten uzak olma durumu, gelen radyasyon alanında bulunmayan yeni frekans bileşenleri geliştirmek için ortamın kutuplanmasına neden olur. Kutuplanmanın bu yeni frekans bileşenleri, elektromanyetik alanın yeni frekans bileşenlerinin kaynağı olarak davranır. ω_j frekanslı alan genliği

$$E^{\omega_j}(z, t) = \frac{1}{2} [E_j(z) \exp[i(\omega_j t - k_j z)] + c.c] \quad (3)$$

ile verilir. Aynı şekilde ω_j frekanslı lineer olmayan kutuplanmanın genliği

$$P_{\omega_j}^{NL} = \frac{1}{2} [P_j^{NL}(z) \exp[i(\omega_j t - k_j z)] + c.c] \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir [14].

$\chi^{(2)}$ ikinci merteye alınganlığın sebep olduğu lineer olmayan optik süreçlerden biri de OPO'dur. OPO lar, pompa kaynakları olarak laserlerin kullanıldığı sistemlerdir ve geleneksel laser sistemleri tarafından elde edilmesi zor olan dalgaboyu bölgelerinde koherent ışık üretmek için kullanılırlar [15]. Bir OPO sistemi, yakın ultraviyole (UV) bölgeden orta infrared (IR) bölgeye kadar bütün spektral aralığı kapsama yeteneğine sahip, genişçe ayarlanabilir koherent radyasyon üretiminde kullanılan güçlü katıhal radyasyon kaynağıdır ve femtosaniyenin altında çalıştırılabilmektedir [16].

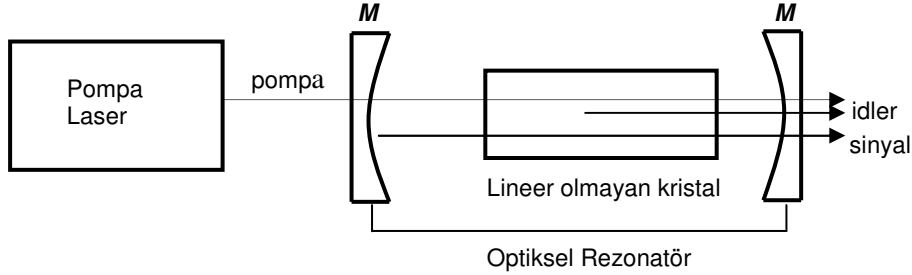
OPO, kazanç ortamı olarak lineer olmayan kristal içeren optik bir rezonans kavitesidir [17]. Temelde bu aygıt, Febry-Perot kavitesi formunda iki ayna ve bir lineer olmayan kristalden oluşur [2]. Kavitenin kullanımı pompa demetinin daha iyi odaklanmasına imkan sağlar. Kazanç üreten lineer olmayan malzemeler, sistemdeki kayıpların üstesinden gelmek için yeterli geri besleme sağlamak zorunda olan optik bir rezonatör içine yerleştirilir. Sağlanan geri besleme biçimi ile karakterize edilen OPO'lar farklı biçimlerde dizayn edilebilmektedirler. Bunlar; tekli rezonans osilatör (SRO) ve çiftli rezonans osilatör (DRO) olarak ifade edilmektedir. SRO durumunda kavite, sadece sinyal ya da idler dalga boylarında geri besleme sağlar. DRO durumunda ise kavite, hem sinyal hem de idler dalga boylarında geri besleme sağlar [18]. OPO sisteminde giriş frekansı; pompalama frekansı, istenilen çıkış frekansı; sinyal ve istenmeyen diğer çıkış frekansı da idler olarak adlandırılır [9]. OPO, bir ortamın lineer olmayan tepkisine dayalı olarak çalışan bir sistemdir. Bu sistemde lineer olmayan ortam (genellikle bir kristal) yüksek enerjili (kısa dalga boylu) bir pompa demetini, düşük enerjili (uzun dalga boylu) iki koherent ışık demetine dönüştürür. Bu koherent ışık demetleri, sinyal ve idler olarak adlandırılır. İdler demetinin dalga boyu, sinyal demetinin dalga boyundan daha uzundur.

OPO sistemi, bir pompa laser ile başlar [19]. Pompa laserden türetilen sürekli dalga (*cw*), *θ-switched*, *mode-locked* ve eş zamanlı pompalı laserler tarafından pompalanabilir. Nanosaniye, pikosaniye, femtosaniye pulslar, OPO sistemleri kullanılarak mW seviyelerinde güç üretebilmektedirler. Excimer laserlere ilaveten frekans-doubled, frekans-tripled, frekans-quadrupled *neodim:itriyum-alüminyum grena (Nd:YAG)* veya *neodim:itriyum lityum florid (Nd:YLF)* laserler pompa kaynakları olarak kullanılmaktadır [20].

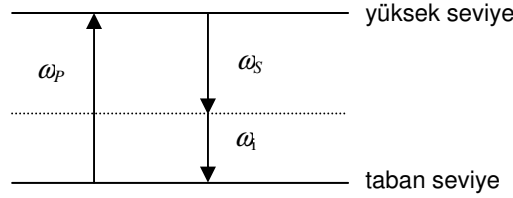
OPO sistemleri, katıhal laserlerin çıkışlarının frekans dönüşümü ile oldukça basit bir etki sağlayabilirler. Yüksek güçteki pompa laserin çıkışı, bir lineer olmayan kristale odaklanır ve eğer bu pompa laserin yoğunluğu yeterince yüksekse, optik frekansların toplamı pompaninkine eşit olan, sinyal ve idler çıkışlarını üreten optik parametrik işlemler başlatılır. Parametrik dönüşüm için eşiği daha fazla düşürmek amacıyla kristal genellikle, sinyal ve/veya idler frekansında geri besleme sağlayan bir rezonans kavitesi içinde kuşatılır [18]. Optik frekans toplamı pompaninkine eşit olan, sinyal veya idler radyasyonu (veya her ikisi birden) optik lineer olmayan kristal başlangıcına rezonatör aynalar ile geri döndürülür. Demetin rezonatördeki gidiş gelişleri ile sinyal ve idler dalgaları, pompa yoğunluğuna bağlı belirli bir faktörle yükseltgenir. Rezonatör gidiş-geliş

kayıplarının üstesinden gelmek için yeterli yükseltgemi olduğu zaman, laser pompa radyasyonunun önemli bir kısmı, sinyal ve idler frekanslarına dönüştürülebilir.

OPO sistemi, çok düşük pompa eşiği ile (nanojoule-puls enerjisi) çalıştırılabilir. Fakat birbirini izleyen pompa puls dizisi gerektirir. Sistem, çok yüksek tekrarlamada (80 MHz) *nanojoule* pulslar üretir [21]. Pompa, sinyal ve idler dalgaları Şekil 1'de gösterildiği gibi $\omega_{pompa} = \omega_{sinyal} + \omega_{idler}$ (alternatif olarak $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ yazılabilir) ile ilişkilendirilen frekanslara sahiptir [17]. Şekil 1, pompa, sinyal ve idler frekansları arasındaki ilişkiyi gösteren OPO sürecinin enerji seviye tanımlamasını göstermektedir.



Şekil 1. Optiksel parametrik osilatörün şematik gösterimi



Şekil 2. OPO yönteminin enerji seviye diyagramı

$\hbar\omega_p$ enerjili pompa fotonu, sinyal ($\hbar\omega_s$ enerjili) ve idler frekansındaki ($\hbar\omega_i$ enerjili) fotonları ürettiğinden enerjinin korunumu;

$$\omega_p = \omega_s + \omega_i \quad (5)$$

ifadesini gerektirir.

Enerji daima yüksek frekanslı dalgardan daha düşük frekanslı dalgalara akar ve böylece hem sinyal hem de idler alanları, pompa tüketiminde büyür. Bu süreçte verim olması için etkileşimde Denk.(6)'da tanımlandığı gibi momentum korunmalıdır:

$$k_p = k_s + k_i \quad (6)$$

Bu bağıntı, faz uyum bağıntısı olarak bilinir. Burada $k_j = n_j \omega_j / c$ 'dir. n_j , ω_j açısal frekanslı malzemelerin kırılma indisidir ve c , ışık hızıdır [22]. Momentumun korunumunu elde etmek için, lineer olmayan etkileşim genellikle çiftkırıcı bir kristalde meydana gelir [19]. Yüksek dönüşüm verimi elde etmek için ve enerji korunum bağıntısını göstermek için giriş demetinin ve üretilen demetlerin faz vektörleri uyumlu olmalıdır [22]. Yani;

$$k_3 = k_1 + k_2 \quad (7a)$$

$$\Delta k = 0 \quad (7b)$$

$$\Delta k = k_1 + k_2 - k_3 = 0 \quad (7c)$$

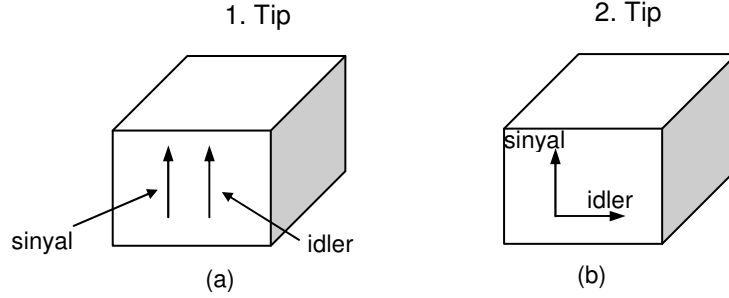
bağıntıları sağlanmalıdır. Denk.(7b) koşulu, mükemmel faz uyum koşulu olarak bilinir. Burada Δk , faz (veya dalga vektör ya da momentum) uyumsuzluğudur. Dönüşüm verimi, Δk 'nın artması durumunda azalacaktır. Bu koşul sağlandığında üretilen dalga, lineer olmayan kutuplanmaya

göre sabit bir fazda hareket eder ve girişteki dalgalardan en etkili biçimde enerji çekebilmektedir [9]. Enerjinin korunumu, OPO sisteminde frekans dönüşümü için kesin bir şarttır. Yani;

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2 \quad (8)$$

eşitliğini sağlamalıdır.

Bu bağıntılara, çiftkırılma sergileyen, yani; kırılma indisinin kristal içinde farklı yönlerde farklı olduğu anizotropik kristallerde karşılaşılabılır. Sabitlenmiş pompa frekansı ile kristal indisinin değiştiği herhangi bir yöntem salınımı ayarlayacaktır. Faz uyumu açısı değiştirilerek, sıcaklık ayarlanarak veya diğer metodlarla elde edilebilir.



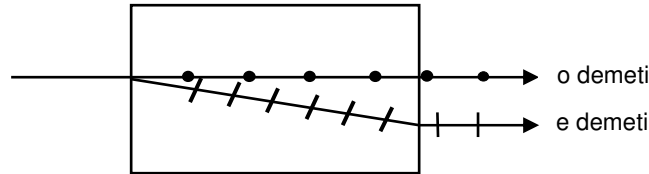
Şekil 3. (a) 1. Tip faz uyumu, (b) 2. Tip faz uyumu

Şekil 3'de gösterildiği gibi OPO sistemleri için iki tip faz uyumu söz konusudur. 1. Tip faz uyumunda aynı kutuplanmaya sahip sinyal ve idler dalgaları durumu söz konusudur. 2. Tip faz uyumunda ise sinyal ve idler dalgalarının kutuplanması birbirine göre dik doğrultulardadır (ortagonaldır) [22].

Tablo 1. Tek eksenli kristaller için faz uyum metotları

Pozitif tekeksenli ($n_e > n_o$)	Negatif tekeksenli ($n_e < n_o$)
1. Tip $n_3^o \omega_3 = n_1^e \omega_1 + n_2^e \omega_2$	$n_3^e \omega_3 = n_1^o \omega_1 + n_2^o \omega_2$
2. Tip $n_3^o \omega_3 = n_1^o \omega_1 + n_2^e \omega_2$	$n_3^e \omega_3 = n_1^e \omega_1 + n_2^o \omega_2$

Tablo 1'de e, Şekil 4'te gösterildiği gibi kristalde ilerlediği sürece sapan ve başlangıç ilerleme doğrultusuna paralel olacak şekilde kristalin diğer yüzünden açığa çıkan *extraordinary* (anormal) demeti ifade eder. *o* ise, kristali hiç sapmadan kat eden ve Snell kanunlarına uyan *ordinary* (normal) demeti ifade eder. Normal ve anormal demetlerin kutuplanmaları birbirine dik doğrultuda meydana gelmektedir [23].



Şekil 4. Bir çift kırıcı kristalde çifte kırılma

Çift eksenli kristaller için indisler sadece θ açısına bağımlı olmayacak, Φ azimut açısına da bağımlı olacaktır. Faz uyum denklemleri daha karmaşık olabilir fakat aynı temel prensiplerden elde edilebilir [2].

Ayarlanabilirlik, OPO karakteristiklerinin en önemlisidir [24]. OPO sisteminin ayarlanabilirliği temel olarak faz uyum şartlarına ve lineer olmayan kristalin dispersiyon karakteristiklerine bağlıdır. Sinyal ve idler frekansları, kazancı artırmak için faz uyum şartları ile ayarlanır. Öyle ki bu frekanslar, en düşük eşiği elde edecektir ve yükseltgenecektir. Dolayısıyla OPO sisteminin çıkışı, ayarlanabilir dalga boyudur [22]. Dalga boyu veya frekans ayarlama; ya çift kırılmayı ayarlayan açı ile, ya da kristal indislerini ayarlayan sıcaklık ile elde edilir. Pratikte her iki metodu gerçekleştirmek kolaydır [2]. Ayrıca periyodik kutuplu kristal kullanılan yarı faz uyum metodu ile de ayarlama gerçekleştirilebilir.

Spektroskopi, yarıiletken analiz teknikleri, fotokimya ve uzaktan algılama gibi bazı araştırma alanlarında yüksek enerjili ya da yüksek güce sahip ayarlanabilir koherent ışık kaynaklarına ihtiyaç vardır. Malzeme bilimindeki ve laser teknolojisindeki son yıllarda gerçekleşen hızlı gelişmeler, koherent ışık kaynaklarında değişik lineer olmayan kristallerin kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır [25]. Çoğu malzeme lineer olmayan bir tepkiye sahiptir fakat kristallerin çok sık kullanılmalarının sebebi; yapıları sebebiyle geniş lineer olmayan tepkilere sahip olmalarıdır [10].

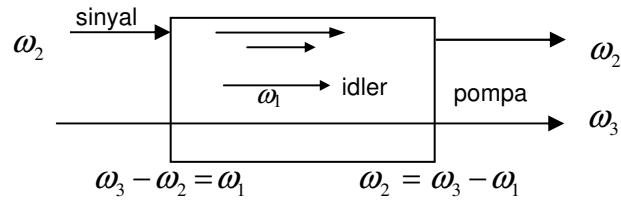
İlk OPO, geniş ayarlanabilirlik sunan LiNbO_3 kullanılarak yapılmıştır. KNbO_3 , AgGaS_2 , ZnGeP_2 ve Ti_3AsSe_3 gibi verimli lineer olmayan kristallerin geliştirilmesi OPO teknolojisinde hızlı bir ilerleme sağlanmasına neden olmuştur. Bu yeni kristallerin öneminin farkına varmak için OPO sisteminde kullanılan uygun lineer olmayan kristallerin malzeme özellik gereksinimlerini anlamak gerekir. Bir OPO kristali için istenen özellikler; geniş geçirgenlik aralığı (potansiyel olarak geniş çalışma aralığı), yüksek lineer olmama durumu, faz uyumu için yeterli çiftkırılma, yüksek hasar eşiği (yüksek güç pompalamaya izin vermek için), iyi sıcaklık kararlılığı, düşük optik kayıp ve kolay numune imalatı, ...vs.dir.

OPO sisteminde ilk ilgilenilen nokta, geniş ayarlanabilir koherent radyasyonun üretimi iken lineer olmayan kristallerde geniş çıkış dalgaboyu aralığı üzerinde optik geçirgenlik olmalıdır. Tüm parametrik süreçler kısa dalgaboylu bir pompa laser temelli olduğundan lineer olmayan kristallerin geçirgenlik aralığı, *Nd:YAG* ve onun harmonikleri (1.064, 0.532, 0.355 & 0.266 μm), *Ti-sapphire* (0.7-1.0 μm), *alexandrite* (700-800 nm), *holmium ve erbium laserler* (~2-3 μm) ve *excimer laserler* (yani 308 nm li XeCl) gibi elde edilebilir pompa laserlerin çıkış dalgaboyları ile örtüşmelidir [2]. Parametrik osilatörler için kullanılan lineer olmayan kristaller geçirgen olmalıdır. Sinyal ve idler gibi pompa dalga boyunda da düşük kayba sahip olmalıdır [18]. Yine $\chi^{(2)}$ ikinci mertebe alınganlığın sebep olduğu lineer olmayan optik süreçlerden olan OPA, yüksek enerjili ayarlanabilir femtosaniye pulsların verimli üretimi için kullanılan bir katihal tekniğidir [26]. En basit anlatımıyla OPA sistemi, ω_3 frekansına sahip bir pompa demetinden ω_1 (idler) ve ω_2 (sinyal) frekanslarına sahip demetlere güç transferi olarak tanımlanabilir. Burada

$$\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$$

frekans dengesi söz konusudur. Olayı Şekil 5 ile verilen şematik gösterimi göz önüne alarak inceleyecek olursak bu yöntemde; ω_3 (pompa) ve ω_2 (sinyal) frekanslı dalgalar, ω_1 (idler) frekansında bir dalga üretmek için karıştırılırlar. ω_3 frekanslı demetteki güç düşüşü, hem ω_1 hem de ω_2 frekanslı demetlerde güçte artış meydana getirir. ω_3 frekanslı ışığın harcanmasına karşın ω_1 ve ω_2 frekanslarında meydana gelen güç artışı, parametrik yükseltgeme olarak adlandırılır [27].

OPA sisteminde, bir giriş (sinyal demeti) lineer olmayan bir kristalde ω_p frekanslı, güçlü, yüksek enerjili pompa demeti ile etkileşmek için gereklidir. Parametrik sürecin bir sonucu olarak hem ω_1 frekanslı bileşke idler demeti hem de ω_s frekanslı orijinal zayıf sinyal demeti yükseltgenir [11].



Şekil 5. Parametrik yükseltgeme

Şekil 5'te görüldüğü gibi, gelen ω_3 frekansında yüksek güçteki bir pompa demetinin lineer olmayan malzeme üzerine düştüğü durumu göz önüne alalım. İkinci demet daha zayıftır ve ω_2 (sinyal) frekansına sahiptir. Bu iki demet idler demeti olarak bilinen ω_1 frekansına sahip üçüncü bir demet üretmek için etkileşir.

$$\omega_3 - \omega_2 \rightarrow \omega_1 \quad (9)$$

Faz uyum şartları altında idler, pompa demetinden güç alarak güçlenir. Bununla beraber idler, ω_2 frekanslı bir demet üretmek için pompa demeti ile etkileşir. Yani net etki, sinyal'e pompa demetinden güç transferi şeklinde ortaya çıkar.

$$\omega_3 - \omega_1 \rightarrow \omega_2 \quad (10)$$

Parametrik yükseltgemenin etkili bir şekilde meydana gelmesi için

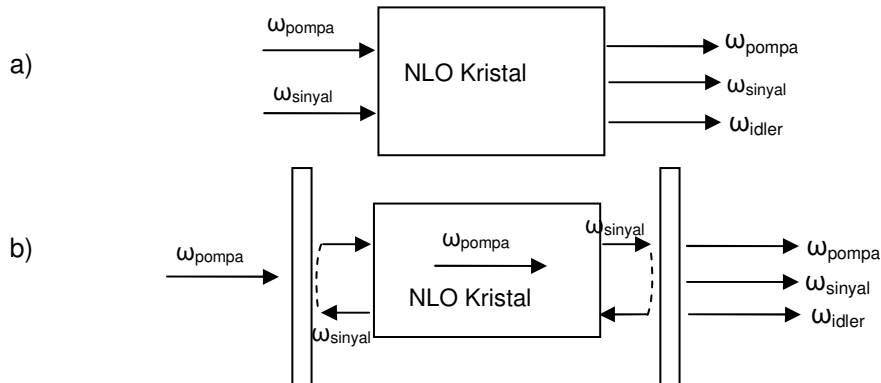
$$k_3 = k_1 + k_2 \quad (11)$$

biçiminde tanımlanan faz uyumu mükemmel olmalıdır.

Bu genellikle çiftkırıcı lineer olmayan kristaller kullanılarak başarılmaktadır. Parametrik yükseltgeme koherent bir biçimde devam ettiğinden, eğer gerekli dalgaların fazları birbirine uyumlu hale getirilirse sinyal ve idler dalgaları daha uygun bir şekilde çoğalır.

OPA sisteminin bir uygulaması, lineer olmayan kristalin yönelimini ve faz uyum şartlarını değiştirmek suretiyle OPA çıkış dalga boyunun ayarlanabilir olmasıdır [10]. Uygun lineer olmayan optik kristallerin elde edilemezliği ve zayıf laser demet kalitesinden kaynaklanan zorluklar sebebiyle koherent ayarlanabilir ışık kaynağı olarak OPA'nın son zamanlara kadar gerektiği gibi farkına varılamamıştır. Bu durum laser teknolojisinde ve lineer olmayan optik kristallerde ilerleme olmasıyla değişmiştir. Günümüzde iyi demet kaliteli, kararlı, pulslu laserler elde edilebilmektedir [11].

OPO ve OPA sistemleri karşılaştırılacak olunursa, bu sistemler arasında bazı farklılıklar olduğu görülür. Bu farklılıklar arasında en bariz olanı, Şekil 6'da görüldüğü gibi OPO sisteminde lineer olmayan optik malzeme geri besleme sağlanması amacıyla aynalar arasında yerleştirilmiştir. Buna rağmen OPA sisteminde geri besleme sağlayıcı bir mekanizma yoktur.



Şekil 6. a) OPA sistemi b) OPO sistemi

OPO ve OPA sistemleri arasındaki bu farklılıklar Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. OPO ve OPA arasındaki farklar

OPO	OPA
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çok düşük pompa eşik enerjisi (nj-puls enerjisi) ▪ Ardışık pompa pulsları ▪ Çok yüksek tekrarlama oranında (80 MHz) nj pulsları ▪ Yüksek uzaysal kalite ▪ Düşük genlik gürültüsü ▪ Çıkışta yüksek koherens özellikleri ve yüksek spektral kalite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Çok güçlü pompa pulsları (mj-puls enerjisi) ▪ Tek pompa pulsu ▪ Düşük tekrarlama oranında (kHz) μj-mj pulsları ▪ Düşük uzaysal kalite ▪ Yüksek genlik gürültüsü ▪ Çıkışta daha düşük koherens özellikleri ve düşük spektral kalite

Sonuçlar ve Tartışma

Lineerlikten uzaklık kavramı, uygulanan optik alana malzemenin tepkisinden ortaya çıkmaktadır. Lineer olmayan optik; frekans karıştırma, frekans dönüşümü gibi olaylara imkan sağlar. Böylece yeni frekanslı dalga üretimi ile ayarlanabilir radyasyon üretimi gerçekleştirilebilir. Laserin icadından beri, sürekli ve genişçe ayarlanabilir koherent radyasyon kaynaklarının gelişimi büyük ilgi görmüştür. Böyle kaynaklar, araştırmada ve endüstride geniş uygulamalara sahip olmuşlardır.

OPO ve OPA sistemleri günümüzde bilimsel araştırmalarda, tıp alanında, askeri alanda, endüstride, haberleşmede ve daha birçok uygulama alanında kullanılmaktadırlar. OPO sistemi, çok yönlü ve pratik radyasyon kaynağı olarak kendini kanıtlamıştır. Lineer olmayan malzeme araştırmalarındaki son gelişmelerin bir sonucu olarak optik parametrik osilatörler, araştırma ve endüstride geniş potansiyel uygulamalarda kullanılan pratik aygıtlardır [28]. Yüksek tekrarlama oranı, geniş ayar aralığı, büyük band genişliği veya kısa puls süresi ve düşük pompalama eşiği OPO sistemlerindeki başlıca çalışma alanlarıdır [24]. Son yıllarda orta IR bölgede çalışan OPO sistemlerinden üretilen pulslar çeşitli çalışma alanlarında kullanılmıştır [29]. OPO sistemlerinin alt pikosaniye veya femtosaniye alanında çalışması onları lineer olmayan spektroskopi çalışması için uygun kılar [24]. Ayarlanabilir dalgaboyları ve yüksek çıkış gücü OPO’yu; gösteri teknolojisi, çevresel denetim, tıbbi araştırmalar, yüksek çözünürlük spektroskopisi, uzaklık tayini (LIDAR), ışık algılanması ve birçok uygulamalar için ideal bir ışık kaynağı haline getirmektedir.

β -baryum borat (BBO) gibi yeni lineer olmayan optik kristalin gelişimini izleyen pek çok grup, OPO ve OPA kullanılan yakın UV bölgeden yakın IR bölgeye kadar ayarlanabilir kaynak üretimini rapor etmişlerdir [30]. Darband kazançlı optik yükselticiler çeşitli bilim ve teknoloji uygulamaları için önemlidir. Son yıllarda OPA sistemleri, laser yükselticilere göre çeşitli avantajlar sunarken, femtosaniye pulsların yükseltgenmesi için kullanılmaktadırlar [31].

Böylece OPA ve OPO karşılaştırıldığında, OPO sisteminin, üretilen pulsların çok daha yüksek uzaysal ve spektral kaliteleri, daha yüksek koherens özellikleri, daha düşük genlik gürültüsü ve daha kolay ayarlanabilirlik kontrol yolları bakımından daha avantajlı olduğu görülür. Buna ilaveten, yüksek tekrarlama oranlı çalıştırma, bazı uygulamalar için özellikle OPA sisteminin OPO sistemi yerine kullanılmadığı bazı özel uygulamalar için özel ve kritik bir öneme sahiptir. Bir OPA sistemini injection seed yapmak için, OPO sisteminden çıkış kullanılması, yüksek kalitede kazançlı pulslar üretmek için imkan sağlar.

Kaynaklar

- [1] Milonni, P. W. **Lasers**, Wiley, New York (1988).
- [2] Tang, C. L. and Cheng, L. K., **Fundamentals of Optical Parametric Process and Oscillators** Harwood Academic Publishers (1995).
- [3] Kingston, R.H. **Parametric Amplification and Oscillation at Optical Frequencies**, Proc. IRE 50 472 (1962)
- [4] Kroll, N.M. **Parametric Amplification in Spatially Extended Media and Application to the Design of Tuneable Oscillators at Optical Frequencies**, Phys.Rev. 127 1207 (1962)
- [5] Akhmanov, S.A. and Khokhlov, R.V. **Soviet Phys.Jet P (transl.)**.16 252 (1963)
- [6] Armstrong, J.A., Bloembergen, N., Ducuing, J. and Pershan, P.S. **Interactions Between Light Waves in a Nonlinear Dielectric**, Phys.Rev. 127 1918 (1962)
- [7] Giordmaine, J.A., Miller, R.C. **Tunable Coherent Parametric Oscillation in LiNbO₃ at Optical Frequencies**, Physical Review Letters, 14 24 973-976 (1965)
- [8] Khoo, I. C., Lam, J. F. and Simoni, F. **Nonlinear Optics and Optical Physics**, World Scientific Publishing Comp. Pte. Ltd., (1994)
- [9] Boyd, R. W. **Nonlinear Optics**, Academic Pres Inc., Boston (1992)
- [10] Carney, H., **Characterization of an Ultrafast Optical Parametric Amplifier System**, class of 2001 *Senior Thesis* (2001)
- [11] Zhang, J. Y., Huang, J. Y. and Shen, Y. R., **Optical Parametric Generation and Amplification**, **Laser Science and Technology an International Handbook**, Harwood Academic Publishers 19 (1995)
- [12] Shen, Y. R., **The Principles of Nonlinear Optics**, Wiley, New York (1984)
- [13] Bass, M., Franken, P. A., Ward, J. F. and Weinreich, G. **Optical Rectification**, Phys. Rev. Lett.9 446 (2000)
- [14] Svelto, O. and Hana, D. C. **Principles of Lasers**, Third Edition Plenum Pres, New York (1989)
- [15] Qian, L. **Design and Operation of a Picosecond Optical Parametric Oscillator Operating at 1.55 μm** , M.S.Thesis Toronto Univ., Canada (1995)
- [16] Khoo, I.C., Lam, J.F., Simoni, F. **Nonlinear Optics and Optical Physics**, World Scientific Publishing Comp.Pte.Ltd. (1994)
- [17] Adams, J.J. **New Crystalline Materials for Nonlinear Frequency Conversion, Electro-optic Modulation, and Mid-infrared Gain Media**, Ph.D. Thesis California Univ., Davis (2002)
- [18] Koechner, W. **Solid-State Laser Engineering**, Springer-Verlag, New York (1976)
- [19] Duarte, F.J. **Tunable Lasers Handbook**, Academic Press Inc., California (1995)
- [20] Lacowicz, J.R. **Topics in Fluorescence Spectroscopy, Vol 4 Probe Design and Chemical Sensing**, Kluwer Academic Publishers, Hingham (1994)
- [21] Finsterbusch, H.K., Urschel, R., Zacharias, H. **Tunable High-Power, Narrow-Band Picosecond IR Radiation by Optical Parametric Amplification in KTP**, Appl. Phys. B. 74 319-322 (2002)
- [22] Vu, K.T. **Sodium Line Guide Star Laser Using Optical Parametric Oscillator**, The Thesis at Laser Physics for Bachelor Science Degree at The Australian National Univ. at Canberra (2003)
- [23] Okur, İ. **Optoelektronik**, Değişim Yayınları Adapazarı (2000)
- [24] Zhang, X.P. **High-Repetition-Rate Femtosecond Optical Parametric Oscillators Based on KTP and PPLN**, Ph.D.Thesis Marburg Univ. Marburg (2002)
- [25] Sutherland, R.L. **Handbook of Nonlinear Optics**, Marcel Dekker, Inc., New York (1996)

- [26] Yakovlev, V.V., Kohler, B., Wilson, K.R.. **Broadly Tunable 30-fs Pulses Produced by Optical Parametric Amplification**, *Optics Letters*, 19 23 2000(1994)
- [27] Woutersen, S. **Femtosecond Vibrational Dynamics in Hydrogen-Bonded Systems**, *Academisch Proefschrift, Amsterdam* (1999)
- [28] Tang, C.L., Bosenberg, W.R., Ukachi, T., Lane, R.J. and Cheng, L.K. **Optical Parametric Oscillators**, *IEEE Journal of Quantum Electronics* 80 365-374 (1992)
- [29] Beddard, T., Ebrahimzadeh, M., Reid, T.D., Sibbett, W. **Five-Optical-Cycle Pulse Generation in The Mid Infrared from an Optical Parametric Oscillator Based on Aperiodically Poled Lithium Niobate**, *Opt.Lett.* 25 14 1052-1054 (2000)
- [30] Zhu, X.D., Deng, L.. **Broadly Tunable Picosecond Pulses Generated in a β -BaB₂O₄ Optical Parametric Amplifier Pumped by 0,532 μ m Pulses**, *Appl.Phys.Lett.* 61 13 28 (1992)
- [31] Lefort, M.C., Fejer, M.M. and Afeyan, B. **Tandem Chirped Quasi-Phase-Matching Grating Optical Parametric Amplifier Design for Simultaneous Group Delay and Gain Control**, *Optics Letters* 30 6 634 (2005).